



From Digitization to Smartification: Elucidating the Evolutionary Path for Realizing Modern Maintenance Strategies

Reza Taheri

Ph.D. Candidate in Strategic Knowledge Management, Faculty of Strategic Management, Supreme National Defense University, Tehran, Iran.

Email: Taherireza1985@gmail.com

Mehran Keshtkar Haranki

Associate Professor of Strategic Knowledge Management, Department of Strategic Knowledge Management, Faculty of Strategic Management, Supreme National Defense University, Tehran, Iran

Email: Mkhkmphd90@gmail.com

Nourbakhsh Alghasi Chegeni

M.A. in Defense Management, Graduate of the National Defense Course, Supreme National Defense University, Tehran, Iran

Email: Rastinmahmudi6@gmail.com

Abstract

Maintenance Management (M&M) plays a strategic role in realizing sustainable value from physical assets. However, the transition toward Smart M&M is hindered by ambiguity regarding its key stages and the lack of an integrated framework that links technological evolution to operational strategies. This research aims to elucidate this evolutionary path and conceptually differentiate its key stages (Digitization, Digitalization, and Smartification), examining the relationship between this transition and the evolution of M&M strategies (from preventive to prescriptive). Employing a Systematic Literature Review (SLR) and qualitative Thematic Analysis, a conceptual model of the M&M evolutionary path is developed, which delineates the link between the stages of technological transition and modern strategies. The main finding reveals that this three-stage evolutionary path provides the necessary technological foundation for the step-by-step realization of modern M&M strategies. Specifically, Digitization enables Preventive Maintenance; Digitalization facilitates Condition-Based Maintenance; and Smartification leads to the achievement of Predictive and Prescriptive Maintenance. The findings also emphasize the critical role of Knowledge Management (KM) as a key enabler for a successful transition. By presenting an integrated framework, this study provides conceptual guidance for managers and addresses the existing research gap in this field.

Keywords: Maintenance Management, Evolutionary Path, Digitization, Digitalization, Digital Transformation, Smartification, Predictive Maintenance, Knowledge Manage





سال هشتم، ویژه‌نامه (پیاپی ۲۸)، زمستان ۱۴۰۴، صص. ۹۹-۱۳۲
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۱۱ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۲

مقاله پژوهشی

از دیجیتال سازی تا هوشمندسازی: تبیین مسیر تکاملی برای تحقق راهبردهای نوین نگهداری و تعمیرات

مهران کشتکار هرانکی

دانشیار مدیریت راهبردی دانش، گروه علمی مدیریت راهبردی دانش، دانشکده مدیریت راهبردی، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران
Email: Mkhkmpd90@gmail.com

رضا طاهری

دانشجوی مقطع دکتری مدیریت راهبردی دانش، دانشکده مدیریت راهبردی، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
Email: Taherireza1985@gmail.com

بهروز کاملی

استادیار مدیریت راهبردی دانش، گروه علمی مدیریت راهبردی دانش، دانشکده مدیریت راهبردی، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران، ایران
Email: Behroozkameli@gmail.com

چکیده

مدیریت نگهداری و تعمیرات (نت) نقشی راهبردی در تحقق ارزش پایدار از دارایی‌ها ایفا می‌کند. با این حال، مسیر گذار به سوی نت هوشمند با ابهام در مراحل کلیدی و فقدان یک چهارچوب یکپارچه که تکامل فناوریانه را به راهبردهای عملیاتی پیوند دهد، مواجه است. این پژوهش باهدف تبیین این مسیر تکاملی و تفکیک مفهومی مراحل آن (دیجیتال‌سازی، دیجیتالی‌سازی و هوشمندسازی)، به بررسی ارتباط این گذار با سیر تکاملی راهبردهای نت (از پیشگیرانه تا تجویزی) می‌پردازد. با به‌کارگیری روش مرور نظام‌مند ادبیات و تحلیل مضمون کیفی، یک مدل مفهومی از سیر تکاملی نت تدوین گردید که پیوند میان مراحل گذار فناوریانه و راهبردهای نوین را تبیین می‌کند. یافته اصلی پژوهش نشان می‌دهد این سیر تکاملی سه‌مرحله‌ای، زیربنای فناوریانه لازم برای تحقق گام‌به‌گام راهبردهای نت است؛ به‌طوری‌که دیجیتال‌سازی، راهبرد پیشگیرانه را ممکن ساخته، دیجیتالی‌سازی، زمینه را برای نگهداری مبتنی بر وضعیت فراهم کرده و هوشمندسازی، دستیابی به نگهداری پیش‌بینانه و تجویزی را محقق می‌سازد. یافته‌ها همچنین بر نقش حیاتی مدیریت دانش به‌عنوان یک توانمندساز محوری در موفقیت این گذار تأکید دارند. این پژوهش با ارائه یک چهارچوب یکپارچه، راهنمایی مفهومی برای مدیران فراهم کرده و به شکاف پژوهشی موجود در این زمینه پاسخ می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: نگهداری و تعمیرات، مسیر تکاملی، دیجیتال‌سازی، دیجیتالی‌سازی، تحول دیجیتال، هوشمندسازی، نگهداری پیش‌بینانه، مدیریت دانش

دانشگاه عالی دفاع ملی ♦ پژوهشکده آماد، فناوری دفاعی و عرصه‌های نوپدید / فصلنامه آماد و فناوری دفاعی



20.1001.1.28212606.1404.8.5.3.6

<https://amfad.sndu.ac.ir/> E-ISSN: 2980-8073



صحت مطالب بر عهده نویسنده مقاله است و بیانگر دیدگاه دانشگاه عالی دفاع ملی نیست.



مقدمه و بیان مسئله

در محیط پویای کسب‌وکار امروز، مدیریت نگهداری و تعمیرات (نت) به‌عنوان یک کارکرد محوری، نقش اساسی در تحقق ارزش پایدار از دارایی‌های فیزیکی و دستیابی به اهداف راهبردی سازمان‌ها ایفا می‌کند. این مهم از طریق تضمین قابلیت اطمینان، افزایش دسترسی‌پذیری و مدیریت بهینه هزینه‌ها و ریسک‌ها در چرخه عمر دارایی‌ها حاصل می‌شود (موسسه استانداردهای بریتانیا، ۲۰۱۷؛ هستینگز، ۲۰۲۱؛ سازمان بین‌المللی استانداردسازی، ۲۰۲۴). در دهه‌های اخیر، همگام با پیشرفت‌های شگرف در فناوری اطلاعات و گذار به اقتصاد دانش، رویکردها به مدیریت نت نیز دستخوش تحولات بنیادین شده است (هستینگز، ۲۰۲۱). فناوری‌های دیجیتال و به‌طور فزاینده، هوش مصنوعی (AI)، افق‌های جدیدی را برای افزایش کارایی و هوشمندی در فرایندهای نت گشوده‌اند (رودا و ماک، ۲۰۲۱) و اهمیت داده‌ها را به‌مثابه دارایی‌های دانشی راهبردی برجسته نموده‌اند (دالکیر، ۲۰۲۳).

بااین‌حال، مسیر گذار به سمت نت هوشمند با چالش‌های اساسی مواجه است، مهم‌ترین چالش، فقدان یک چهارچوب مفهومی یکپارچه است که سیر تکامل فناوریانه را به سیر تکامل راهبردهای نت پیوند دهد. این پژوهش با هدف پر کردن این شکاف، قصد دارد یک مدل تکاملی شفاف از این گذار را تبیین کرده و تمایزات کلیدی میان اصطلاحات رایج مانند دیجیتال‌سازی، دیجیتالی‌سازی و هوشمندسازی را روشن سازد. این مدل، به سازمان‌ها کمک می‌کند تا مسیر خود را به سمت نگهداری و تعمیرات هوشمند به شکلی آگاهانه و اثربخش طی کنند. باوجود پیشرفت‌های فناوریانه، مسیر گذار به سوی نت هوشمند با یک چالش دوگانه مواجه است. نخست، ابهام مفهومی و عدم وجود تمایز دقیق و مبتنی بر مبانی علمی میان اصطلاحات کلیدی چون دیجیتال‌سازی، تحول دیجیتال و هوشمندسازی، اغلب به سردرگمی در تصمیم‌گیری‌های راهبردی منجر می‌شود (پاندا، ۲۰۲۲).

دوم، باوجود حرکت سریع به‌سوی الگوهایی چون صنعت ۴/۰ و پیاده‌سازی نگهداری پیش‌بینانه و تجویزی (پچیچ باخ و همکاران، ۲۰۲۳)، پیوند میان این مسیر تکاملی فناوریانه و مدل‌های شناخته‌شده بلوغ راهبردی در نت به‌خوبی تبیین نشده است (رودا و ماک، ۲۰۲۱).



عدم وجود این شفافیت یکپارچه، ریسک تخصیص غیر بهینه منابع و عدم تحقق کامل پتانسیل ارزش‌آفرینی این رویکردها را افزایش می‌دهد (کومار، ۲۰۲۴).

در نتیجه، یک شکاف پژوهشی قابل توجه در زمینه ارائه یک چهارچوب مفهومی یکپارچه وجود دارد که به‌طور هم‌زمان، سیر تکاملی گذار از دیجیتال‌سازی به هوشمندسازی در نت را ترسیم کند، تمایزات کلیدی بین مراحل آن را دقیق‌سازی نماید و ارتباط آن را با مدل‌های بلوغ راهبردی نت برقرار سازد. اغلب، این اصطلاحات به‌جای یکدیگر به کار می‌روند و ارتباط آن‌ها با راهبردهای عملیاتی مبهم باقی‌مانده است. این پژوهش قصد دارد با سنتز نظام‌مند ادبیات، این شکاف را پر کرده و با ارائه یک مدل تکاملی و تفکیک مفهومی روشن، به دانش نظری و عملی این حوزه بیفزاید.

اهمیت راهبردی مدیریت نگهداری و تعمیرات در موفقیت پایدار سازمان‌ها، لزوم راهبری هوشمندانه تحولات فناورانه در این حوزه را دوچندان می‌کند. با توجه به اینکه نت هوشمند می‌تواند مزایای رقابتی چشمگیری مانند افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و بهبود ایمنی به ارمغان آورد، درک صحیح مسیر گذار به این سطح از بلوغ، برای بقا و رشد سازمان‌ها حیاتی است. این پژوهش با ارائه یک مدل مفهومی و یکپارچه، به سازمان‌ها کمک می‌کند تا مسیر خود را به سمت نت هوشمند به شکلی آگاهانه و اثربخش طی کنند.

ضرورت انجام این پژوهش از آنجا ناشی می‌شود که عدم وجود شفافیت مفهومی و یکپارچگی، همان‌طور که در بیان مسئله تشریح شد، ریسک تخصیص غیربهینه منابع، شکست در پروژه‌های تحول دیجیتال و عدم تحقق کامل پتانسیل ارزش‌آفرینی فناوری‌های نوین را به همراه دارد. با پر کردن این شکاف پژوهشی، این تحقیق به دانش نظری و عملی این حوزه افزوده و زمینه را برای تصمیم‌گیری‌های راهبردی دقیق‌تر در سازمان‌ها فراهم می‌آورد.

هدف اصلی

تبیین یک چهارچوب مفهومی یکپارچه است که پیوند حیاتی و تکاملی میان دو مسیر مجزا را نشان می‌دهد: سیر تکامل فناوری (از دیجیتال‌سازی تا هوشمندسازی) و سیر تکامل راهبردهای نگهداری و تعمیرات (از پیشگیرانه تا تجویزی).

اهداف فرعی

- تفکیک و تشریح مفاهیم کلیدی و ویژگی‌های هر یک از مراحل سه‌گانه تکامل فناوریانه
- در نگهداری و تعمیرات (دیجیتال‌سازی، دیجیتالی‌سازی و هوشمندسازی)؛
- تبیین نقش و تأثیر هر مرحله از تکامل فناوریانه در دستیابی به راهبردهای نوین
- نگهداری و تعمیرات (مانند نگهداری مبتنی بر وضعیت و نگهداری پیش‌بینانه)؛
- شناسایی و تحلیل فناوری‌های توانمندساز و الزامات دانشی موردنیاز برای هر مرحله
- از مسیر تکاملی مورد بحث؛
- تدوین و ارائه یک مدل مفهومی جامع که پیوند منطقی و پیش‌نیاز میان سیر تکامل
- فناوری و سیر تکامل راهبردهای نگهداری و تعمیرات را نشان دهد.

سؤال اصلی

این مسیر تکاملی فناوریانه (از دیجیتال‌سازی تا هوشمندسازی) چگونه با سیر تکاملی راهبردهای نگهداری و تعمیرات پیوند می‌خورد؟

سؤالات فرعی

- مراحل کلیدی در مسیر تکاملی فناوریانه (دیجیتال‌سازی، دیجیتالی‌سازی و هوشمندسازی) چه تعاریف و ویژگی‌هایی دارند؟
- نقش هر یک از این مراحل فناوریانه در تحقق راهبردهای نوین نگهداری و تعمیرات (مانند نگهداری مبتنی بر وضعیت و نگهداری پیش‌بینانه) چیست؟
- فناوری‌های توانمندساز (مانند اینترنت اشیا و هوش مصنوعی) و پیش‌نیازهای دانشی در هر مرحله از این گذار تکاملی کدامند؟
- مدل نهایی پیوند میان تکامل فناوری و تکامل راهبردهای نگهداری و تعمیرات چگونه تبیین می‌شود؟



۱. پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیت روزافزون تحول دیجیتال و هوشمندسازی در افزایش کارایی و قابلیت اطمینان سیستم‌ها، مطالعات متعدد و مختلفی در این حوزه انجام شده است. پژوهش‌های پیشین، جنبه‌های گوناگونی از این گذار فناورانه را، از ابزارهای اولیه دیجیتال سازی گرفته تا کاربردهای پیشرفته هوش مصنوعی، مورد واکاوی قرار داده‌اند. با این حال، همان‌طور که در مقدمه تشریح شد، شکاف اصلی در ارائه یک مدل یکپارچه که این مسیر فناورانه را به تکامل راهبردهای نت پیوند دهد، همچنان باقی است. در جدول زیر، مروری بر مطالعات کلیدی که بنیان این پژوهش را تشکیل می‌دهند، به همراه نتایج اصلی آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۱: مروری بر مطالعات کلیدی پیشین

نویسنده/ سال انتشار	عنوان پژوهش	روش تحقیق	هدف مطالعه	یافته کلیدی مرتبط با این پژوهش
کومار (۲۰۲۴)	تبادل راهبردی هوش مصنوعی در سازمان‌های مدرن: چهارچوب‌ها، کاربردها و پیامدهای آتی	تحلیل مفهومی	بررسی چهارچوب‌ها و کاربردهای هوش مصنوعی در سازمان‌های مدرن	هوش مصنوعی، ابزار کلیدی برای دستیابی به راهبردهای پیشرفته در نگهداری و تعمیرات است.
پاریدا و همکاران (۲۰۲۴)	نگهداری پیش‌بینانه در تلماتیک خودرو با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه	مطالعه موردی	بررسی کاربرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای نگهداری پیش‌بینانه در صنعت خودرو	استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی دقیق خرابی‌ها، یک مثال عملی از مرحله هوشمندسازی است.
طاهر دوست و مدنچیان (۲۰۲۳)	هوش مصنوعی و مدیریت دانش: تأثیرات، مزایا و پیاده‌سازی	مرور نظام‌مند ادبیات	بررسی تأثیرات، مزایا و چالش‌های پیاده‌سازی هوش مصنوعی در حوزه مدیریت دانش	هوش مصنوعی می‌تواند فرایندهای مدیریت دانش را متحول کند و به ایجاد سیستم‌های دانشی هوشمند منجر شود.

نویسنده/ سال انتشار	عنوان پژوهش	روش تحقیق	هدف مطالعه	یافته کلیدی مرتبط با این پژوهش
لی و همکاران (۲۰۲۳)	پیاده سازی هوش مصنوعی در سازمان ها: یک مرور نظام مند ادبیات	مرور نظام مند ادبیات	مرور نظام مند چالش ها، راهنماها و پیامدهای پیاده سازی هوش مصنوعی در سازمان ها.	پیاده سازی موفق هوش مصنوعی با موانع متعدد فنی، انسانی و سازمانی روبروست که باید به صورت راهبردی مدیریت شوند.
پچیج باخ و همکاران (۲۰۲۳)	نگهداری پیش بینانه در صنعت ۴/۰ برای شرکت های کوچک و متوسط: یک مطالعه موردی بر روی سیستم پشتیبانی تصمیم گیری با استفاده از نرم افزار متن باز	مطالعه موردی	ارائه یک مطالعه موردی از پیاده سازی نت پیش بینانه در صنعت ۴،۰ با استفاده از نرم افزار متن باز.	کاربرد موفق الگوریتم های یادگیری ماشین برای پیش بینی دقیق خرابی ها، نمونه ای عملی از تحقق مرحله هوشمند سازی است.
ثابتی و همکاران (۱۴۰۲)	نقش هوش مصنوعی در شکل دهی آینده مدیریت دانش نوین	تحلیل مضمون کیفی	بررسی نقش تحول آفرین هوش مصنوعی در آینده مدیریت دانش نوین.	هوش مصنوعی می تواند فرایندهای مدیریت دانش را به طور بنیادین متحول کرده و به ایجاد سیستم های دانشی هوشمند منجر شود.
پاندا (۲۰۲۲)	دیجیتالی سازی روش های مدیریت دانش: یک رویکرد ضروری	تحلیل مفهومی	تبیین و تمایز مفهومی میان دیجیتالی سازی، دیجیتالی سازی و تحول دیجیتال در بستر مدیریت دانش.	دیجیتالی سازی بر تبدیل فرمت داده تمرکز دارد، در حالی که دیجیتالی سازی به بهبود فرایندها با استفاده از فناوری دیجیتال می پردازد.
لئونو و همکاران (۲۰۲۲)	نقش میانجی فرایندهای مدیریت دانش در استفاده مؤثر از هوش مصنوعی در شرکت های تولیدی	پیمایشی/ تحلیلی	بررسی نقش میانجی فرایندهای مدیریت دانش در استفاده مؤثر از هوش مصنوعی در شرکت های تولیدی.	فرایندهای مدیریت دانش (کسب، اشتراک گذاری و کاربرد) یک عامل حیاتی برای تحقق کامل پتانسیل هوش مصنوعی در سازمان است.



نویسنده/ سال انتشار	عنوان پژوهش	روش تحقیق	هدف مطالعه	یافته کلیدی مرتبط با این پژوهش
رودا و ماکي (۲۰۲۱)	تکامل مفاهیم نگهداری و تعمیرات: یک مرور تطبیقی به سوسی مفهوم پردازی پیشرفته نت	مرور تطبیقی	بررسی تطبیقی مفاهیم نت از رویکردهای سنتی تا نگهداری هوشمند.	هوشمندسازی به عنوان تکامل یافته ترین مرحله، بر پایه هوش مصنوعی و تحلیل داده ها برای تصمیم گیری بهینه استوار است.
هستینگز (۲۰۲۱)	مدیریت دارایی های فیزیکی: با مقدمه ای بر استاندارد ایزو ۵۵۰۰۰	کتاب/ راهنما	ارائه یک راهنمای جامع برای مدیریت دارایی های فیزیکی، شامل راهبردهای مختلف نت.	تشریح دقیق راهبردهای نت (پیشگیرانه، مبتنی بر وضعیت، پیش بینانه و تجویزی) و جایگاه آن ها در مدیریت کلان دارایی ها.
فلوم و گلزر (۲۰۱۸)	اینترنت اشیا و تحول دیجیتال: به سوسی سازمان داده محور	تحلیل مضمون کیفی	بررسی نقش اینترنت اشیا در تحول دیجیتال سازمان ها و حرکت به سوسی سازمان داده محور.	IoT با فراهم کردن داده های زنده از وضعیت دارایی ها، زیربنای اصلی مرحله دیجیتالی سازی و نگهداری مبتنی بر وضعیت را تشکیل می دهد.
یوسفی طرزرجان و رمضانی (۱۳۹۴)	کشف الگوهای پنهان و مفید از داده های سامانه های نگهداری و تعمیرات تجهیزات، با پیش بینی هزینه ها و نقاط پرت	تحلیل مضمون کیفی	بررسی قابلیت های داده کاوی برای تحلیل داده های سامانه های CMMS و کشف الگوهای مفید.	تحلیل داده های ثبت شده در سیستم های اولیه نت (مرحله دیجیتال سازی) می تواند به پیش بینی هزینه ها و بهینه سازی اولیه کمک کند.
تیسانگ (۲۰۰۲)	ابعاد راهبردی مدیریت نگهداری و تعمیرات	تحلیل مضمون کیفی	بررسی گذار مدیریت نت از یک کارکرد صرفاً فنی به یک قابلیت راهبردی هم سو با اهداف کلان سازمان.	نت دیگر یک مرکز هزینه نیست، بلکه یک عامل کلیدی در ایجاد مزیت رقابتی و تحقق اهداف راهبردی سازمان است.

نویسنده/ سال انتشار	عنوان پژوهش	روش تحقیق	هدف مطالعه	یافته کلیدی مرتبط با این پژوهش
داونپورت و پروساک (۱۹۹۸)	دانش کاری: چگونه سازمان‌ها آنچه را که می‌دانند مدیریت می‌کنند	کتاب	تأکید بر اهمیت دانش عملی، فرهنگ اشتراک دانش و نقش آن در عملکرد سازمانی.	دانش یک دارایی راهبردی است و مدیریت مؤثر آن برای موفقیت سازمان‌ها در اقتصاد دانش‌بنیان ضروری است.

۲. مفهوم‌شناسی

این بخش باهدف ایجاد یک بنیان نظری مستحکم برای مقاله، به واکاوی مفاهیم کلیدی و مرور یکپارچه ادبیات پژوهشی می‌پردازد. برخلاف رویکردهای سنتی که پیشینه را به‌صورت سال‌شمار مرور می‌کنند، در اینجا ادبیات موجود در یک چهارچوب موضوعی و منسجم ارائه می‌شود تا زمینه مفهومی لازم برای تبیین «مسیر تکاملی گذار به نت هوشمند» و «پیوند آن با راهبردهای نوین نت» فراهم گردد. این ساختار به درک عمیق‌تر متغیرهای تحقیق و روابط میان آن‌ها کمک می‌کند (وبستر و واتسون، ۲۰۰۲).

۲-۱. مدیریت نگهداری و تعمیرات: از کارکرد فنی تا الزام راهبردی

مدیریت نگهداری و تعمیرات (نت) به مجموعه اقدامات فنی، اداری و مدیریتی در طول چرخه عمر یک دارایی گفته می‌شود که هدف آن حفظ یا بازگرداندن دارایی به وضعیت عملکرد مورد انتظار است (موسسه استانداردهای بریتانیا، ۲۰۱۷). اهداف بنیادین نت فراتر از تعمیرات صرف بوده و تضمین قابلیت اطمینان و دسترسی‌پذیری تجهیزات، ایمنی عملیات و بهینه‌سازی هزینه‌های چرخه عمر را در برمی‌گیرد (هستینگز، ۲۰۲۱).

در دهه‌های اخیر، جایگاه نت از یک مرکز هزینه فنی به یک قابلیت راهبردی مبتنی دانش متحول شده است (تیسانگ، ۲۰۰۲). این تحول، تحت تأثیر دو نیروی محرکه اصلی بوده است:



ظهور اقتصاد دانش: در این پارادایم، دانش یک منبع کلیدی و داده‌ها به‌مثابه دارایی‌های دانشی ارزشمند تلقی می‌شوند (دالکیر، ۲۰۲۳؛ داونپورت و پروساک، ۱۹۹۸).

پیشرفت‌های فناورانه: فناوری‌هایی چون «هوش مصنوعی»^۱ و «اینترنت اشیا»^۲ افق‌های جدیدی برای افزایش کارایی و هوشمندی در نت گشوده‌اند (رودا و ماک، ۲۰۲۱).

این عوامل باعث شده‌اند تا نت به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های حیاتی مدیریت دارایی‌های فیزیکی شناخته شود که باید در راستای اهداف کلان سازمان و با ایجاد تعادل میان هزینه، ریسک و عملکرد دارایی‌ها مدیریت گردد (انجمن جهانی مدیریت نگهداری و دارایی، ۲۰۲۴؛ هستینگز، ۲۰۲۱).

۲-۲. مسیر تکاملی راهبردهای نگهداری و تعمیرات

راهبردهای نت خود یک مسیر تکاملی را طی کرده‌اند که اغلب در قالب یک مدل پنج سطحی توصیف می‌شود (رودا و ماک، ۲۰۲۱). درک این مسیر برای پیوند دادن آن به تکامل فناورانه ضروری است:

- ❖ نگهداری «واکنشی»^۳: تعمیر پس از وقوع خرابی.
- ❖ نگهداری «پیشگیرانه»^۴: تعمیرات مبتنی بر یک زمان‌بندی ثابت (مبتنی بر زمان یا کارکرد) برای کاهش احتمال خرابی (شوتز و همکاران، ۲۰۱۹).
- ❖ نگهداری «مبتنی بر وضعیت»^۵: اقدامات نت براساس پایش وضعیت فعلی و واقعی تجهیزات انجام می‌شود. در این روش، یک آستانه تعریف‌شده و در صورت عبور از آن، اقدام اصلاحی صورت می‌گیرد (هستینگز، ۲۰۲۱؛ ووگل و همکاران، ۲۰۱۶).

-
1. AI
 2. IoT
 3. Reactive
 4. Preventive
 5. Condition-Based - CBM

❖ نگهداری «پیش‌بینانه»^۱: با استفاده از تحلیل داده‌ها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، زمان آتی خرابی پیش‌بینی شده و اقدامات لازم قبل از وقوع آن برنامه‌ریزی می‌شود (پچیچ باخ و همکاران، ۲۰۲۳).

❖ نگهداری «تجویزی»^۲: پیشرفته‌ترین سطح که علاوه بر پیش‌بینی زمان خرابی، بهترین اقدام ممکن را نیز با در نظر گرفتن عوامل مختلف (مانند هزینه، منابع و برنامه تولید) توصیه می‌کند (هستینگز، ۲۰۲۱؛ رودا و ماکی، ۲۰۲۱).

شایان‌ذکر است که اگرچه پیش‌بینی مبتنی بر تخصص و تجربه انسانی نیز نوعی از نگهداری پیش‌بینانه محسوب می‌شود، اما در چهارچوب این پژوهش و ادبیات نوین صنعت ۴/۰، منظور از نت پیش‌بینانه، رویکرد داده‌محور و مبتنی بر تحلیل‌های پیشرفته و هوش مصنوعی است (رودا و ماکی، ۲۰۲۱).

۲-۳. مراحل گذار فناورانه در نت: تبیین مفاهیم کلیدی

تحلیل ادبیات نشان می‌دهد که گذار فناورانه در نت را می‌توان در سه مرحله اصلی و متمایز مدل‌سازی کرد:

❖ مرحله اول: «دیجیتال‌سازی»^۳

این مرحله بر تبدیل داده‌های آنالوگ به فرمت دیجیتال، بدون ایجاد تغییر اساسی در فرایند، تمرکز دارد (پاندا، ۲۰۲۲). ابزار اصلی در این مرحله، «سیستم‌های مدیریت مکانیزه نت»^۴ است که برای ثبت و مدیریت داده‌های مربوط به سوابق، برنامه‌ها و قطعات یدکی به کار می‌رود (رستگاری و مبین، ۲۰۱۶). هدف اصلی در این مرحله، ایجاد یک زیرساخت داده‌ای اولیه است (یوسفی طزرجان و رضانی، ۱۳۹۴).

1. Predictive - PdM
2. Prescriptive
3. Digitization
4. CMMS



❖ مرحله دوم: «دیجیتالی سازی و تحول دیجیتال»^۱

این مرحله شامل بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال برای بهبود و یکپارچه‌سازی فرایندها است (پاندا، ۲۰۲۲). در اینجا، تمرکز از صرفاً «داده» به «فرایند» منتقل می‌شود. استفاده از «اینترنت اشیا»^۲ برای جمع‌آوری داده‌های زنده از وضعیت تجهیزات و حرکت به‌سوی یک سازمان داده‌محور، از مشخصه‌های این مرحله است (فلوم و گلزر، ۲۰۱۸). در این مرحله، سیستم‌های مختلف سازمانی (مانند سیستم‌های مدیریت مکانیزه نت و سیستم‌های برنامه‌ریزی منابع سازمانی)^۳ و از طریق «رابط‌های برنامه‌نویسی»^۴ به یکدیگر متصل می‌شوند تا جریان اطلاعات بهبود یابد.

❖ مرحله سوم: «هوشمندسازی»^۵

هوشمندسازی، تکامل‌یافته‌ترین مرحله است که بر استفاده از هوش مصنوعی و «یادگیری ماشین»^۶ برای ایجاد قابلیت‌های شناختی مانند یادگیری، استدلال و تصمیم‌گیری بهینه و خودکار استوار است (راسل و نوروینگ، ۲۰۲۱؛ رودا و ماک، ۲۰۲۱). در این مرحله، تمرکز از «فرایند» به «مدل تصمیم‌گیری و عملیات» منتقل می‌شود. فناوری‌هایی چون هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، اینترنت اشیا پیشرفته، تحلیل داده‌های کلان و دوفلوی دیجیتال، قابلیت‌هایی نظیر نگهداری پیش‌بینانه و نگهداری تجویزی را ممکن می‌سازند (پچیچ باخ و همکاران، ۲۰۲۳؛ پاریدا و همکاران، ۲۰۲۴). هدف نهایی، دستیابی به «نگهداری هوشمند» (یوکویاما، ۲۰۱۵) و حتی سیستم‌های خودنگهدار است (یونیارتو و لیب، ۲۰۰۶).

1. Digitalization & Digital Transformation
2. IoT
3. ERP
4. API
5. Smartification
6. ML

گذار موفق در هر سه مرحله فناورانه، به شدت به «مدیریت دانش»^۱ وابسته است. مدیریت دانش فرایندی است که به سازمان‌ها در کسب، ایجاد، اشتراک‌گذاری و بهره‌برداری مؤثر از دانش کمک می‌کند (دالکیر، ۲۰۲۳).

در مرحله دیجیتال‌سازی، داده‌های خام ثبت‌شده در CMMS باید به اطلاعات قابل‌استفاده تبدیل شوند.

در مرحله دیجیتال‌سازی، دانش حاصل از داده‌های یکپارچه به بهبود فرایندها کمک می‌کند.

در مرحله هوشمندسازی، الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای یادگیری و پیش‌بینی دقیق، به دانش ساختاریافته و باکیفیت نیاز دارند.

پژوهش‌ها تأیید می‌کنند که فرایندهای مدیریت دانش، نقش میانجی و تسهیلگر را در استفاده مؤثر از هوش مصنوعی ایفا می‌کنند (لئون و همکاران، ۲۰۲۲؛ طاهر دوست و مدنچیان، ۲۰۲۳). بدون یک سیستم مدیریت دانش کارآمد، داده‌ها ارزش راهبردی خود را از دست می‌دهند و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پیشرفته به نتایج مطلوب منجر نخواهد شد (ثابتی و همکاران، ۱۴۰۲).

۲-۴. فرضیه مرکزی (پیشنهادی)

با توجه به مبانی نظری و پیشینه مرور شده، گزاره اصلی این پژوهش که در ادامه از طریق تحلیل و سنتز ادبیات مورد واکاوی قرار می‌گیرد، به شرح زیر صورت‌بندی می‌شود:

یک رابطه پیش‌نیازی و توانمندساز میان مسیر تکاملی فناورانه و سیر تکاملی راهبردهای نگهداری و تعمیرات وجود دارد؛ به‌طوری‌که مراحل سه‌گانه (دیجیتال‌سازی، دیجیتال‌سازی و هوشمندسازی) به ترتیب زیربنای لازم برای تحقق راهبردهای پیشرفته‌تر نت (از پیشگیرانه تا تجویزی) را فراهم می‌آورند.



۳. روش تحقیق

پژوهش حاضر از نوع بنیادی-توسعه‌ای است که با رویکرد کیفی انجام شده است. هدف اصلی آن تبیین و تدوین یک مدل مفهومی است که شکاف موجود در ادبیات علمی را برطرف سازد. رویکرد کیفی برای این تحقیق مناسب است، زیرا به دنبال پاسخ به سؤال «چگونه» (چگونگی گذار به نت هوشمند) است و هدف آن فهم عمیق یک پدیده است، نه صرفاً اندازه‌گیری کمی آن.

۳-۱. جامعه پژوهش، نمونه آماری و قلمرو تحقیق

جامعه پژوهش شامل تمامی اسناد و منابع علمی معتبر (مقالات، کتاب‌ها، گزارش‌ها و استانداردها) در حوزه نگهداری و تعمیرات، مدیریت دارایی‌های فیزیکی، تحول دیجیتال و هوش مصنوعی است که به ابعاد مفهومی و راهبردی پرداخته‌اند. نمونه پژوهش شامل ۴۵ منبع کلیدی است که با استفاده از روش «نمونه‌گیری هدفمند»^۱ و طی فرایند غربالگری نظام‌مند انتخاب شدند. قلمرو تحقیق این پژوهش از نظر زمانی، شامل منابع منتشر شده از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۴ بوده و از نظر موضوعی، مفاهیم و راهبردهای نگهداری و تعمیرات، دیجیتال سازی، دیجیتالی سازی، هوشمندسازی و مدیریت دانش را در برمی‌گیرد.

۳-۲. روش گردآوری و تحلیل داده‌ها

داده‌های این پژوهش با استفاده از روش «مرور نظام‌مند ادبیات»^۲ و با طی سه مرحله اصلی گردآوری شد:

شناسایی و انتخاب منابع: جستجوی نظام‌مند در پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر (مانند Scopus, Web of Science, Google Scholar, SID) با کلیدواژه‌های مرتبط انجام شد. این فرایند منجر به شناسایی ۱۸۰ منبع اولیه گردید.

1. Purposive Sampling

2. Systematic Literature Review - SLR

غریبالگری و انتخاب نهایی: منابع براساس معیارهای ورود (ارتباط مستقیم با سؤال پژوهش و تمرکز بر ابعاد مفهومی) در سه مرحله (عنوان، چکیده، متن کامل) غریبالگری شدند. در نهایت، ۴۵ منبع کلیدی برای تحلیل عمیق انتخاب شد. استخراج داده‌ها: اطلاعات کلیدی از منابع نهایی با تمرکز بر تعاریف مفاهیم ویژگی‌های راهبردها، فناوری‌های توانمندساز و روابط میان آن‌ها، استخراج گردید. داده‌های استخراج شده با استفاده از روش «تحلیل مضمون»^۱ مورد تحلیل قرار گرفت. این فرایند شامل کدگذاری باز (استخراج کدهای اولیه از داده‌ها)، دسته‌بندی کدها در طبقات مفهومی مرتبط و در نهایت، یکپارچه‌سازی طبقات برای شکل‌دهی به مضامین اصلی بود.

۳-۳. اعتبارسنجی یافته‌ها

برای افزایش اعتبار و پایایی یافته‌های این پژوهش، از دو رویکرد زیر استفاده شد:

❖ «پایایی»^۲: برای اطمینان از ثبات نتایج، فرایند کدگذاری و دسته‌بندی مضامین توسط دو محقق به‌طور مستقل انجام شد. این کار به‌منظور ارزیابی توافق بین کدگذاران صورت گرفت.

❖ «روایی»^۳: برای اطمینان از اینکه مدل مفهومی تدوین شده، به‌درستی پدیده مورد نظر را منعکس می‌کند، از بازبینی توسط خبرگان استفاده شد. مدل نهایی و روابط میان مفاهیم توسط دو نفر از متخصصان حوزه مدیریت نگهداری و تعمیرات در صنعت مورد بررسی قرار گرفت و تأیید شد که یافته‌ها از دقت و روایی لازم برخوردارند.

۴. تجزیه و تحلیل یافته‌ها

در این بخش، یافته‌های کلیدی حاصل از تحلیل کیفی ادبیات، به‌منظور پاسخ‌گویی به سؤال اصلی پژوهش و تدوین مدل مفهومی، ارائه می‌گردد. همان‌طور که در بخش روش‌شناسی

-
1. Thematic Analysis
 2. Reliability
 3. Validity



تشریح شد، با به کارگیری روش تحلیل مضمون بر روی ۴۵ منبع منتخب، داده‌های استخراج شده سنتز و یکپارچه سازی شدند تا نه تنها مفاهیم کلیدی شناسایی شوند، بلکه روابط بنیادین میان آن‌ها نیز آشکار گردد.

تحلیل‌ها نشان داد که گذار به نت هوشمند از طریق یک مسیر تکاملی فناورانه سه مرحله‌ای صورت می‌پذیرد. این مسیر که در مضامین ۳، ۴ و ۵ به تفصیل تشریح شده، شامل مراحل دیجیتال سازی (پاندا، ۲۰۲۲؛ رستگاری و مبین، ۲۰۱۶)، دیجیتالی سازی-تحول دیجیتال (فلوم و گلزر، ۲۰۱۸) و هوشمندسازی (رودا و ماک، ۲۰۲۱) است.

مهم‌تر آنکه، این تحلیل امکان پیوند دادن این مسیر فناورانه به سیر تکاملی راهبردهای نت (که در بخش مبانی نظری معرفی شد) را فراهم ساخت. درواقع، یافته‌های پراکنده در ادبیات وقتی در کنار یکدیگر قرار گرفتند، نشان دادند که هر مرحله از تکامل فناوری، زیربنا و توانمندساز لازم برای تحقق سطح بعدی از راهبردهای نت است؛ برای مثال، پیاده سازی موفق نگهداری پیش‌بینانه به قابلیت‌های ایجادشده در مرحله هوشمندسازی وابسته است (پچیچ باخ و همکاران، ۲۰۲۳).

فرایند تحلیل شامل شناسایی ۷۳ کدباز اولیه بود که در ۲۲ طبقه و نهایتاً ۷ مضمون اصلی سازمان‌دهی شدند. این مضامین که در جداول ۱ تا ۷ به تفصیل ارائه می‌شوند، اجزای سازنده مدل مفهومی نهایی پژوهش را تشکیل می‌دهند و تصویری جامع از مراحل تکامل، فناوری‌های توانمندساز، نقش مدیریت دانش و درنهایت، پیوند میان فناوری و راهبرد در حوزه نت ارائه می‌دهند.

جداول مرتبط با مضامین، طبقات و کدهای باز استخراج شده به شرح زیر است:

جدول ۲: مبانی و اهمیت راهبردی نگهداری و تعمیرات (نت)

مضمون اصلی	طبقه	کد باز
مبانی و اهمیت راهبردی نت	تعریف و اهداف بنیادین	نت به مثابه کارکرد محوری
	نت	حفظ یا بازگرداندن دارایی به کارکرد مورد انتظار
		تضمین و ارتقای «قابلیت اطمینان» ^۱

مضمون اصلی	طبقه	کد باز
		افزایش «دسترسی پذیری» ^۱
		کسب اطمینان از ایمنی عملیات
		رعایت الزامات زیست محیطی
		بهینه سازی «هزینه های چرخه عمر» ^۲
		اتخاذ راهبردهای مناسب نت (پیشگیرانه، پیش بینانه، اصلاحی)
	جایگاه نت در مدیریت دارایی	نت به مثابه مؤلفه حیاتی مدیریت دارایی های فیزیکی
		مدیریت دارایی: رویکرد نظام مند و هماهنگ برای تحقق ارزش پایدار از دارایی ها
		مدیریت دارایی: تعادل میان هزینه ها، ریسک ها و عملکرد دارایی
		لزوم هم سویی راهبردهای نت با راهبرد کلی مدیریت دارایی و اهداف کسب و کار
	اهمیت راهبردی نت و دانش در عصر اقتصاد دانش	افزایش اهمیت راهبردی مدیریت دارایی در اقتصاد دانش
		دانش به عنوان منبع کلیدی
		داده ها به مثابه دارایی های دانشی ارزشمند
		گذر نت از مرکز هزینه به قابلیت راهبردی
		تأثیر مستقیم نت بر بهره وری، مدیریت ریسک، پایداری مالی و توان رقابتی
		بهینه سازی عملکرد نت: کاهش هزینه، افزایش بهره برداری، بهبود ایمنی
		نقش اساسی نت در موفقیت پایدار و خلق ارزش

جدول ۳: نیروهای محرکه و الزامات تحول در نت

مضمون اصلی	طبقه	کد باز
نیروهای محرکه و الزامات تحول در نت	عوامل کلان تحول	پیشرفت های شگرف/چشمگیر در فناوری اطلاعات و ارتباطات (IT/ICT)
		گذار به عصر دیجیتال
		گذار به عصر اقتصاد دانش
		رویکرد فزاینده به داده محوری

1. Availability
2. LCC



مضمون اصلی	طبقه	کد باز
	الزامات نوین مدیریت دارایی و نت	تغییرات بنیادین در الزامات و انتظارات از مدیریت دارایی و نت
		لزوم بازنگری و به روزرسانی راهبردها و شیوه های مدیریت نت
		اهمیت فزاینده دانش و داده در اقتصاد امروز
		تصمیم گیری های مبتنی بر دانش و تحلیل داده ها به عنوان مزیت رقابتی
		نیاز به چهارچوب جامع تر مدیریت دارایی

جدول ۴: دیجیتال سازی در نگهداری و تعمیرات

مضمون اصلی	طبقه	کد باز
مرحله ۱: دیجیتال سازی در نگهداری و تعمیرات	تعریف و ماهیت دیجیتال سازی	تبدیل داده های آنالوگ به فرمت دیجیتال
		عدم ایجاد تغییرات اساسی در فرایند اصلی
		تمرکز بر تبدیل فرمت داده (مثال: اسکن اسناد کاغذی نت)
	ابزارهای اولیه دیجیتال سازی در نت	سیستم های مدیریت مکانیزه نگهداری و تعمیرات
		CMMS به عنوان ابزار ثبت و مدیریت داده های نت (سوابق، برنامه ریزی، قطعات یدکی)
		قابلیت های محدود تحلیل تصمیم در CMMS های اولیه
		کاربرد اولیه داده کاوی روی داده های CMMS (مثال: پیش بینی هزینه)
	نقش اولیه در گذار فناورانه	گام اولیه در مسیر دیجیتالی سازی فرایندهای نت
		فراهم کردن داده های پایه برای مراحل بعدی

جدول ۵: دیجیتالی سازی و تحول دیجیتال در نت

مضمون اصلی	طبقه	کد باز
مرحله ۲: دیجیتالی سازی و تحول دیجیتال در نت	تعریف و ماهیت دیجیتالی سازی (طبق تعریف پاندا)	بهره گیری از فناوری های دیجیتال برای پردازش و تحلیل داده های دیجیتال
		بهبود فرایندها با استفاده از ابزارهای دیجیتال
	تعریف و ماهیت تحول دیجیتال	اتخاذ رویکردهای نوین در دیجیتالی سازی با استفاده از فناوری های پیشرفته اطلاعات و رایانه
		فراتر از تبدیل فرمت؛ تمرکز بر بازطراحی فرایندها

مضمون اصلی	طبقه	کد باز
	(مفهوم جامع‌تر)	حرکت سازمان‌ها به سمت داده‌محوری
		یکپارچگی سیستم‌های مختلف سازمانی با API
	نمودهای دیجیتالی‌سازی تحول دیجیتال در نت	استفاده از ابزارهای دیجیتال فراتر از CMMS اولیه (سنسورهای IOT اولیه، نرم‌افزار تحلیل داده)
		بهینه‌سازی فرایندهای نت با فناوری دیجیتال
		بهبود جریان اطلاعات و تصمیم‌گیری با یکپارچه‌سازی سیستم‌ها
		استفاده از IoT برای جمع‌آوری داده وضعیت دارایی‌ها (در مراحل اولیه)
		«نگهداری الکترونیکی» ^۱ به‌عنوان نمود اولیه

جدول ۶: هوشمندسازی نگهداری و تعمیرات

مضمون اصلی	طبقه	کد باز
مرحله ۳: هوشمندسازی نگهداری و تعمیرات	مفهوم و ابعاد کلیدی هوشمندسازی نت	تکامل‌یافته‌ترین مرحله در گذار فناورانه نت
		افزایش کارایی، دقت و هوشمندی در فرایندهای نت
		جمع‌آوری و تحلیل داده‌های بی‌درنگ از وضعیت دارایی‌ها
		خودکارسازی فرایندها و کاهش دخالت انسانی
		استفاده از هوش مصنوعی (AI) برای تصمیم‌گیری‌های بهینه نت
		حرکت به سوی «خودنگهداری» ^۲
	نمودهای عملی هوشمندسازی در نت	نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه
		نت پیش‌بینانه: پیش‌بینی زمان دقیق خرابی با تحلیل داده و AI/ML
		PdM: پایش مستمر وضعیت و تشخیص زودهنگام علائم خرابی
		نگهداری تجویزی
		نگهداری تجویزی: ارائه توصیه‌های مشخص و عملی برای اقدامات نت
		نگهداری مبتنی بر هوش مصنوعی و دستیابی به «نگهداری هوشمند»
		استفاده از منطق فازی در نگهداری تطبیقی

1. e-Maintenance
2. Self-Maintenance



مضمون اصلی	طبقه	کد باز
		سیستم های پشتیبانی تصمیم هوشمند برای نت
		کاربرد در بستر صنعت ۴/۰

جدول ۷: فناوری های توانمندساز محوری در گذار به نت هوشمند

مضمون اصلی	طبقه	کد باز
فناوری های توانمندساز محوری در گذار به نت هوشمند	هوش مصنوعی یادگیری ماشین (AI/ML)	تحلیل داده های پیچیده و حجیم
		شناسایی الگوهای پنهان
		پیش بینی خرابی ها
		ارائه توصیه های تعمیراتی بهینه
		امکان یادگیری سیستم ها از داده ها و بهبود عملکرد
	اینترنت اشیا	جمع آوری داده های بی درنگ و جامع از وضعیت دارایی ها با سنسورها
		پایش پارامترهای عملکردی (دما، لرزش، فشار و ...)
		تشخیص زود هنگام مشکلات و پایش وضعیت دارایی ها
	تحلیل داده های کلان	تحلیل حجم وسیع داده ها برای استخراج دانش مفید
		شناسایی روندهای پیچیده و ارتباطات غیرمنتظره
		ایجاد مدل مجازی دارایی ها، فرایندها یا سیستم ها
	دوقلوی دیجیتال	شبیه سازی، پایش و تحلیل عملکرد در محیط مجازی
		شناسایی مشکلات قبل از وقوع و ارزیابی راهکارهای پیشگیرانه
	نقش ترکیبی فناوری ها	همکاری و تعامل فناوری ها برای بهینه سازی برنامه های نت

جدول ۸: مدیریت دانش به مثابه توانمندساز راهبردی و ضرورت شفافیت مفهومی

مضمون اصلی	طبقه	کد باز
مدیریت دانش به مثابه توانمندساز راهبردی و	نقش محوری مدیریت دانش	KM به عنوان توانمندساز کلیدی در نت دیجیتال و هوشمند
		فرایند تبدیل داده به دانش ارزشمند
		فرایندهای KM: کسب، ایجاد، استفاده، بایگانی، اشتراک گذاری دانش
		بهره برداری مؤثر از دارایی های دانشی

مضمون اصلی	طبقه	کد باز
ضرورت شفافیت مفهومی		KM به عنوان کلید موفقیت در مدیریت دارایی (طبق نظر IAM/GFMAM)
		نقش میانجی KM در استفاده مؤثر از AI (طبق نظر Leoni et al)
		ضرورت سیستم KM کارآمد و یکپارچه برای هوشمندسازی و استفاده از AI
		اهمیت KM یکپارچه در محیط های کاری دیجیتال (طبق نظر Mittelman)
ضرورت شفافیت و تمایز مفهومی		اهمیت حیاتی درک صحیح و تفکیک دقیق مفاهیم (دیجیتال سازی، تحول دیجیتال، هوشمندسازی)
		جلوگیری از سردرگمی در تصمیم گیری راهبردی
		جلوگیری از تخصیص غیربهبینه منابع به فناوری های جدید
		تحقق کامل پتانسیل ارزش آفرینی رویکردهای نوین
		نیاز اساسی به تبیین مفهومی دقیق و یکپارچه
		شکاف پژوهشی در ارائه چهارچوب مفهومی یکپارچه برای سیر تکاملی و تمایز مراحل در نت
		کاربرد مبهم یا جایگزین اصطلاحات
		لزوم ارائه مدل تکاملی و تفکیک مفهومی روشن (هدف پژوهش)
		اهمیت مرور ادبیات نظام مند برای شفافیت مفهومی
		نیاز به مدل سازی سیر تکاملی (طبق بخش ۲-۵)

۴-۱. بحث و تفسیر یافته ها

این بخش به تفسیر و تحلیل یافته های حاصل از تحلیل مضمون می پردازد تا پاسخی جامع به سؤال اصلی پژوهش ارائه دهد. هدف، فراتر از گزارش یافته ها، ارائه درکی عمیق از نتایج، مقایسه آن ها با دانش پیشین و تدوین یک چهارچوب مفهومی یکپارچه است که دستاورد اصلی این پژوهش را تشکیل می دهد. تحلیل مضمون، اجزای سازنده این چهارچوب را آشکار ساخت و در ادامه، این اجزا برای ساختن یک مدل منسجم با یکدیگر ترکیب می شوند.



الف. ارائه مدل مفهومی یکپارچه: پیوند فناوری و راهبرد: یافته کلیدی و دستاورد اصلی این پژوهش، ارائه یک مدل مفهومی یکپارچه است که نشان می‌دهد مسیر تکاملی فناوریانه در نت، زیربنا و توانمندساز مستقیم برای تحقق گام به گام راهبردهای تکاملی نت است. این گذار یک فرایند تصادفی نیست، بلکه یک مسیر با وابستگی‌های مشخص است که در آن، هر مرحله فناوریانه، قابلیت‌های لازم برای پیاده‌سازی سطح بعدی از راهبردهای نگهداری و تعمیرات را فراهم می‌آورد.



شکل ۱: مدل مفهومی یکپارچه پیوند میان تکامل فناوریانه و استراتژی‌های نت

جدول ۹: مدل مفهومی پیوند میان تکامل فناوریانه و تکامل راهبردی در نت

مرحله تکامل فناوریانه (چگونه؟)	قابلیت‌های کلیدی ایجادشده	راهبرد نت توانمند شده (چه چیزی؟)
۱. دیجیتال سازی	ثبت نظام‌مند داده‌ها و سوابق، امکان برنامه‌ریزی مبتنی بر زمان	نگهداری پیشگیرانه (Preventive)
۲. دیجیتال سازی	پایش زنده وضعیت دارایی‌ها، یکپارچه‌سازی فرایندها و داده‌ها	نگهداری مبتنی بر وضعیت (CBM)
۳. هوشمندسازی	تحلیل پیشرفته، پیش‌بینی آینده، توصیه و خودکارسازی تصمیم	نگهداری پیش‌بینانه و تجویزی

این پیوند را می‌توان به شرح زیر تشریح کرد:

دیجیتال‌سازی، سنگ بنای نت پیشگیرانه: در گام نخست، سازمان‌ها با استفاده از ابزارهایی مانند CMMS، داده‌های نت را از حالت کاغذی و پراکنده به فرمت دیجیتال تبدیل می‌کنند (رستگاری و مبین، ۲۰۱۶). همان‌طور که پاندا (۲۰۲۲) اشاره می‌کند، این مرحله بر تبدیل فرمت داده متمرکز است. این قابلیت ثبت و بازیابی نظام‌مند سوابق، پیش‌نیاز مطلق برای اجرای مؤثر نگهداری پیشگیرانه است؛ زیرا راهبردهای مبتنی بر زمان‌بندی ثابت (شوتز و همکاران، ۲۰۱۹) بدون داشتن تاریخچه دیجیتال دقیق، قابل اعتماد نیستند.

دیجیتالی‌سازی، زمینه‌ساز نت مبتنی بر وضعیت: در مرحله دوم، تمرکز از داده به فرایند منتقل می‌شود. با بهره‌گیری از فناوری‌هایی چون IoT و یکپارچه‌سازی سیستم‌ها، سازمان قابلیت پایش زنده وضعیت دارایی‌ها را کسب می‌کند (فلوم و گلزر، ۲۰۱۸). این توانمندی، یعنی دسترسی به داده‌های واقعی و لحظه‌ای از شرایط کارکرد، دقیقاً همان چیزی است که برای پیاده‌سازی نگهداری مبتنی بر وضعیت (CBM) لازم است. همان‌طور که هستینگز (۲۰۲۱) تشریح می‌کند، CBM براساس عبور از یک آستانه مشخص عمل می‌کند و این امر بدون داده‌های زنده حاصل از دیجیتالی‌سازی، ممکن نیست.

هوشمندسازی، شاهره نت پیش‌بینانه و تجویزی: مرحله نهایی، جهشی از پایش حال به پیش‌بینی آینده است. هوشمندسازی، که بر پایه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین استوار است (رودا و ماک، ۲۰۲۱)، این جهش را ممکن می‌سازد. نگهداری پیش‌بینانه (PdM) نیازمند تحلیل الگوهای پیچیده در داده‌های تاریخی برای پیش‌بینی زمان خرابی است؛ کاری که از توان تحلیل انسانی خارج و در حوزه تخصصی الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. مطالعه موردی پیچید باخ و همکاران (۲۰۲۳) نمونه‌ای عملی از این پیوند را به نمایش می‌گذارد. گامی فراتر، نگهداری تجویزی است که در آن، سیستم‌های هوشمند علاوه بر پیش‌بینی، بهترین اقدام ممکن را نیز توصیه می‌کنند؛ این سطح از بهینه‌سازی تصمیم، اوج قابلیت‌های هوشمندسازی را نشان می‌دهد (هستینگز، ۲۰۲۱).



ب. اهمیت تمایز مفهومی در راهبری مسیر تکاملی

یافته‌های این پژوهش بر ضرورت حیاتی تفکیک مفاهیم سه‌گانه «دیجیتال‌سازی»، «دیجیتالی‌سازی» و «هوشمندسازی» تأکید می‌کند. این تمایز صرفاً یک بحث آکادمیک نیست، بلکه یک ابزار راهبری برای مدیران است. مدیری که تفاوت این مراحل را به درستی درک نکند، در معرض تصمیم‌گیری‌های راهبردی نادرست و سرمایه‌گذاری‌های غیربهرینه قرار می‌گیرد (کومار، ۲۰۲۴).

برای مثال، سازمانی که تصور می‌کند با خرید و استقرار یک نرم‌افزار CMMS (یک اقدام در سطح دیجیتال‌سازی) به نتایج حاصل از هوشمندسازی (مانند کاهش چشمگیر خرابی‌های پیش‌بینی‌نشده) دست خواهد یافت، دچار سرخوردگی می‌شود. مدل مفهومی ارائه‌شده در این مقاله به مدیران کمک می‌کند تا:

وضعیت فعلی سازمان خود را ارزیابی کنند: آیا ما در مرحله جمع‌آوری داده هستیم یا بهبود فرایند؟

انتظارات واقع‌بینانه تعریف کنند: از هر مرحله فناوریانه، باید انتظار نتایج راهبردی متناسب با آن را داشت.

نقشه راه سرمایه‌گذاری خود را تدوین کنند: برای رسیدن به نت پیش‌بینانه، ابتدا باید از بلوغ سازمان در مراحل دیجیتال‌سازی و دیجیتالی‌سازی اطمینان حاصل کرد. این شفافیت مفهومی، که در پژوهش پاندا (۲۰۲۲) نیز بر آن تأکید شده، به سازمان‌ها اجازه می‌دهد تا مسیر تکاملی خود را آگاهانه و گام‌به‌گام طی کنند.

ج. نقش مدیریت دانش به‌عنوان «محرک» این مسیر تکاملی

اگر مدل سه‌مرحله‌ای را یک «موتور» برای حرکت به‌سوی نت پیشرفته در نظر بگیریم، مدیریت دانش (KM)، روغن حیاتی این موتور است که حرکت روان و کارآمد آن را تضمین می‌کند. یافته‌ها نشان دادند که مدیریت دانش یک مضمون جانبی نیست، بلکه یک توانمندساز محوری و یکپارچه در تمام طول این مسیر است.

در مرحله دیجیتال سازی: مدیریت دانش تضمین می کند که داده های ثبت شده در CMMS، ساختاریافته، باکیفیت و قابل تبدیل به اطلاعات مفید باشند.

در مرحله دیجیتالی سازی: با یکپارچه سازی سیستم ها، مدیریت دانش به شکستن سیلوهای اطلاعاتی کمک کرده و دانش فرایندی را در سازمان به گردش درمی آورد. همان طور که داونپورت و پروساک (۱۹۹۸) دهه ها پیش مطرح کردند، مدیریت دانش کاربردی به سازمان ها قدرت می دهد.

در مرحله هوشمند سازی: این نقش به اوج خود می رسد. الگوریتم های هوش مصنوعی برای یادگیری و پیش بینی دقیق، به شدت به داده های تاریخی غنی و دانش ساختاریافته «گرسنه» هستند. پژوهش لئونی و همکاران (۲۰۲۲) به زیبایی نشان می دهد که فرایندهای مدیریت دانش، نقش میانجی کلیدی در استفاده مؤثر از هوش مصنوعی دارند. بدون وجود یک راهبرد مدیریت دانش قدرتمند، سازمان ها با انبوهی از «داده های بی فایده»^۱ مواجه خواهند شد و سرمایه گذاری شان در هوش مصنوعی به ثمر نخواهد نشست.

۴-۲. محدودیت های پژوهش

محدودیت های این پژوهش به شرح ذیل است:

وابستگی به ادبیات: یافته ها مبتنی بر سنتز ادبیات موجود بوده و کیفیت و دامنه منابع، نتایج را تحت تأثیر قرار می دهد.

تمرکز مفهومی: پژوهش عمدتاً بر ابعاد مفهومی متمرکز بوده و به چالش های عملیاتی پیاده سازی در سازمان ها کمتر پرداخته است.

ابهام مرزی: مرز دقیق میان «دیجیتالی سازی» و «تحول دیجیتال» همچنان می تواند وابسته به زمینه باشد.

روش شناسی کیفی: تحلیل مضمون، هرچند نظام مند، اما متکی بر تفسیر پژوهشگر است.



تمرکز بر مسیر فناورانه: این پژوهش به صورت عامدانه بر مسیر تکاملی فناورانه و نقش آن در توانمندسازی راهبردهای نت متمرکز شده است. در نتیجه، به نقش مکمل و گاهی جایگزین تخصص و تجربه انسانی در پیش‌بینی خرابی‌ها (نت پیش‌بینانه مبتنی بر تجربه) پرداخته نشده است. بررسی تعامل میان این دو مسیر (فناورانه و انسانی) می‌تواند موضوع پژوهش‌های آتی باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

هدف این پژوهش، تبیین پیوند حیاتی و تکاملی میان دو مسیر مجزا (تکامل فناوری و تکامل راهبردهای نت) بود. نتایج حاصل از تحلیل مضمون کیفی ادبیات، پاسخ‌های روشنی به سؤالات اصلی و فرعی پژوهش ارائه می‌دهد.

پاسخ به سؤالات فرعی

سؤال اول: مراحل کلیدی در مسیر تکاملی فناورانه چه تعاریف و ویژگی‌هایی دارند؟ این پژوهش، گذار فناورانه در نگهداری و تعمیرات را در سه مرحله متمایز مدل‌سازی می‌کند:

الف. دیجیتال‌سازی، که بر تبدیل داده‌های آنالوگ به فرمت دیجیتال تمرکز دارد.

ب. دیجیتال‌سازی، که شامل بهبود فرایندها با استفاده از فناوری‌های دیجیتال است.

ج. هوشمندسازی، که به‌کارگیری هوش مصنوعی برای تصمیم‌گیری خودکار و بهینه را ممکن می‌سازد.

سؤال دوم: نقش هر یک از این مراحل فناورانه در تحقق راهبردهای نوین نگهداری و تعمیرات چیست؟ تحلیل یافته‌ها نشان می‌دهد که این سیر تکاملی، زیربنای لازم برای تحقق گام‌به‌گام راهبردهای نت است. دیجیتال‌سازی با فراهم کردن زیرساخت داده‌های اولیه، راهبرد نت پیشگیرانه را ممکن می‌سازد. در ادامه، دیجیتال‌سازی با پایش زنده وضعیت دارایی‌ها، زمینه را برای نگهداری مبتنی بر وضعیت فراهم می‌کند. سرانجام، هوشمندسازی با قدرت تحلیل پیشرفته، شاهره دستیابی به نگهداری پیش‌بینانه و تجویزی را می‌گشاید.

سؤال سوم: فناوری‌های توانمندساز و پیش‌نیازهای دانشی در هر مرحله از این گذار کدام‌اند؟ در مرحله دیجیتال‌سازی، ابزارهایی مانند سیستم‌های مدیریت مکانیزه نت و مدیریت دانش اولیه نقش کلیدی دارند. در مرحله دیجیتالی‌سازی، فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا برای جمع‌آوری داده‌های زنده و سیستم‌های یکپارچه برای بهبود فرایندها حیاتی هستند. در نهایت، در مرحله هوشمندسازی، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و تحلیل داده‌های کلان، اصلی‌ترین توانمندسازها محسوب می‌شوند. همچنین، مدیریت دانش در تمام مراحل به‌عنوان یک توانمندساز محوری عمل می‌کند و تضمین می‌کند که داده‌ها به دانش ارزشمند تبدیل شده و در خدمت تصمیم‌گیری قرار گیرند.

سؤال چهارم: مدل نهایی پیوند میان تکامل فناوری و تکامل راهبردهای نگهداری و تعمیرات چگونه تبیین می‌شود؟ مدل مفهومی نهایی، پیوند میان این دو مسیر را در قالب یک رابطه پیش‌نیازی و توانمندساز تبیین می‌کند. این مدل نشان می‌دهد که دستیابی به راهبردهای پیشرفته نت، یک فرایند گام‌به‌گام است که وابستگی عمیقی به بلوغ فناوریانه سازمان دارد. هر مرحله از تکامل فناوری، قابلیت‌های لازم را برای پیاده‌سازی سطح بعدی راهبرد نت فراهم می‌آورد و بدون طی کردن موفق هر مرحله، جهش به مرحله بعدی ممکن نیست.

پاسخ به سؤال اصلی

سؤال اصلی: این مسیر تکاملی فناوریانه (از دیجیتال‌سازی تا هوشمندسازی) چگونه با سیر تکاملی راهبردهای نگهداری و تعمیرات پیوند می‌خورد؟ پاسخ این پژوهش، ارائه مدلی است که این پیوند را به‌وضوح نشان می‌دهد: سیر تکاملی فناوریانه در سه مرحله متمایز (دیجیتال‌سازی، دیجیتالی‌سازی، هوشمندسازی)، به ترتیب زیربنای لازم برای تحقق تدریجی راهبردهای نگهداری و تعمیرات (از نت پیشگیرانه تا نت تجویزی) را فراهم می‌آورد. این مدل یک چهارچوب راهبردی برای سازمان‌ها فراهم می‌کند تا مسیر تحول دیجیتال در حوزه نگهداری و تعمیرات را به‌صورت آگاهانه و گام‌به‌گام طی کنند. این درک از پیوند میان فناوری و راهبرد، به مدیران کمک می‌کند تا سرمایه‌گذاری‌های خود را به شکل واقع‌بینانه هم‌سو کرده و از تخصیص غیربهبینه منابع جلوگیری کنند.



پیشنهادهای پژوهش

مدل مفهومی ارائه شده در این مقاله، مسیرهای جدیدی را برای تحقیقات آتی می گشاید: توسعه و اعتبارسنجی مدل های بلوغ: پیشنهاد می شود پژوهشگران آینده این مدل مفهومی یکپارچه را به یک ابزار ارزیابی بلوغ کمی تبدیل کنند. این ابزار می تواند به سازمان ها کمک کند تا موقعیت خود را به طور هم زمان در هر دو محور فناوری و راهبرد ارزیابی کرده و شکاف های موجود را شناسایی کنند. اعتبارسنجی این ابزار از طریق مطالعات موردی در صنایع مختلف (نفت و گاز، تولید، حمل و نقل و ...) ارزش بالایی خواهد داشت.

تحلیل «عوامل زمینه ای»^۱: تحقیق در خصوص تأثیر عواملی چون تجارب انسانی، فرهنگ سازمانی، سبک رهبری، اندازه سازمان و نوع صنعت بر سرعت و موفقیت حرکت در این مسیر تکاملی یکپارچه، می تواند به درک عمیق تری از الزامات پیاده سازی کمک کند.

مدل سازی «بازگشت سرمایه»^۲: انجام پژوهش های کمی برای مدل سازی بازگشت سرمایه حاصل از حرکت بین مراحل مختلف این مدل یکپارچه. برای مثال، هزینه و فایده حرکت از راهبرد CBM (با پشتوانه دیجیتالی سازی) به راهبرد PdM (با پشتوانه هوشمندسازی) چقدر است؟

بررسی عمیق مکانیسم های مدیریت دانش: تحقیق در مورد اینکه چه نوع سازوکارهای مدیریت دانشی در هر یک از سه مرحله فناورانه بیشترین اثربخشی را دارد. برای مثال، نقش KM در حاکمیت داده (مرحله ۱) با نقش آن در آماده سازی داده برای الگوریتم های یادگیری ماشین (مرحله ۳) متفاوت است.

مدل مفهومی این پژوهش، یک ابزار راهبری عملی برای مدیران و تصمیم گیران حوزه نت و مدیریت دارایی است:

ابتدا جایگاه خود را بشناسید: به مدیران توصیه می شود از این مدل به عنوان یک ابزار تشخیصی استفاده کرده و جایگاه فعلی سازمان خود را به طور هم زمان بر روی هر دو محور

1. Contextual Factors
2. ROI

«تکامل فناوری» و «تکامل راهبرد» مشخص کنند. این کار به ایجاد یک درک مشترک و واقع‌بینانه در سازمان کمک می‌کند.

سرمایه‌گذاری فناورانه و راهبردی را هم‌سو کنید: پیام کلیدی برای مدیران این است که برای دستیابی به راهبردهای پیشرفته‌نت، نمی‌توان مسیر فناورانه را دور زد. برای مثال، برای دستیابی به راهبرد نت پیش‌بینانه، سرمایه‌گذاری صرف روی نرم‌افزارهای هوش مصنوعی کافی نیست؛ ابتدا باید از بلوغ سازمان در مراحل دیجیتال‌سازی (داده‌های باکیفیت و در دسترس) و دیجیتالی‌سازی (فرایندهای یکپارچه) اطمینان حاصل کرد.

نقشه راه گام‌به‌گام تدوین کنید: به‌جای تلاش برای یک جهش بزرگ، یک نقشه راه مرحله‌ای و واقع‌بینانه تدوین کنید. این نقشه راه باید شامل سرمایه‌گذاری متوازن در سه حوزه باشد: فناوری (ابزارهای لازم)، فرایندها (اصلاح و بهینه‌سازی) و شایستگی‌ها (توسعه مهارت‌های کارکنان و مدیریت دانش).

مدیریت دانش را در اولویت قرار دهید: سرمایه‌گذاری بر روی فرایندها و سیستم‌های مدیریت دانش یک گزینه لوکس نیست، بلکه یک پیش‌نیاز حیاتی برای موفقیت در هر مرحله از این مسیر است. از کیفیت داده‌ها در مبدأ تا به اشتراک‌گذاری دانش حاصل از تحلیل‌ها در مقصد، KM باید محور اصلی تحول باشد.



فهرست منابع

- ثابتی و همکاران (۱۴۰۲). نقش هوش مصنوعی در شکل‌دهی آینده مدیریت دانش نوین. همایش ملی تحقیقات میان‌رشته‌ای در علوم مهندسی و مدیریت، ۸ (۸)، ۱۶۶-۱۵۲.
- یوسفی طزرجان و همکاران (۱۳۹۴). کشف الگوهای پنهان و مفید از داده‌های سامانه‌های نگهداری و تعمیرات تجهیزات، با پیش‌بینی هزینه‌ها و نقاط پرت. دهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع.

References

- British Standards Institution. (2017). BS EN 13306:2017 Maintenance - maintenance terminology. BSI.
- Dalkir, K. (2023). Knowledge management in theory and practice (4th ed.). MIT Press.
- Davenport, T. H., & Prusak, L. (1998). Working knowledge: How organizations manage what they know. Harvard Business School Press.
- Global Forum on Maintenance & Asset Management. (2024). The asset management landscape (3rd ed.).
- Hastings, N. A. (2021). Physical asset management: With an introduction to the ISO 55000 (3rd ed.). Springer.
- International Organization for Standardization. (2024). ISO 55000: Asset management — Overview, principles and terminology. ISO.
- Kumar, H. (2024). Strategic adoption of artificial intelligence in modern enterprises: Frameworks, applications, and future implications. *Artificial Intelligence and Applications*, 1, 53.
- Lee, M. C. M., Scheepers, H., Lui, A. K. H., & Ngai, E. W. T. (2023). The implementation of artificial intelligence in organizations: A systematic literature review. *Information & Management*, 60(5), 103816.
- Leoni, L., Ardolino, M., El Baz, J., Gueli, G., & Bacchetti, A. (2022). The mediating role of knowledge management processes in the effective use of artificial intelligence in manufacturing firms. *International Journal of Operations & Production Management*, 42(13), 411-437.
- Panda, S. (2022). Digitization of knowledge management methods: An essential approach. *International Journal of Knowledge Management and Practices*, 10(2), 25-32.
- Parida, P. R., Murthy, C. J., & Venkatachalam, D. (2024). Predictive Maintenance in Automotive Telematics Using Machine Learning Algorithms for Enhanced Reliability and Cost Reduction. *Journal of Computational Intelligence and Robotics*, 3.
- Pejić Bach, M., Topalović, A., Krstić, Ž., & Iveć, A. (2023). Predictive maintenance in industry 4.0 for the SMEs: A decision support system case study using open-source software. *Designs*, 7(4), 98.
- Pflaum, A. A., & Gölzer, P. (2018). The IoT and digital transformation: Toward the data-driven enterprise. *IEEE Pervasive Computing*, 17(1), 87-91.
- Rastegari, A., & Mobin, M. (2016). Maintenance decision making, supported by computerized maintenance management system. [Paper presentation].
- Roda, I., & Macchi, M. (2021). Maintenance concepts evolution: A comparative review towards advanced maintenance conceptualization. *Computers in Industry*, 133, 103531.
- Russell, S. J., & Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed.). Pearson.
- Schutz, J., Chelbi, A., Rezg, N., & Ben Salem, S. (2019). Production and maintenance strategies for parallel machines with load transfer in case of failure. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 25(4), 525-544.



- Taherdoost, H., & Madanchian, M. (2023). Artificial Intelligence and Knowledge Management: Impacts, Benefits, and Implementation. *Computers*, 12(4), 72.
- Tsang, A. H. (2002). Strategic dimensions of maintenance management. *Journal of Quality in maintenance Engineering*, 8(1), 7-39.
- Vogl, G. W., Weiss, B. A., & Helu, M. (2016). A review of diagnostic and prognostic capabilities and best practices for manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89, 845-859.
- Webster, J., & Watson, R. T. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. *MIS quarterly*, xiii-xxiii.
- Yokoyama, A. (2015). Innovative Changes for Maintenance of Railway by Using ICT-To Achieve "Smart Maintenance". *Procedia CIRP*, 38, 24-29.
- Yuniarto, M., & Labib, A. (2006). Fuzzy adaptive preventive maintenance in a manufacturing control system: a step towards self-maintenance. *International Journal of Production Research*, 44(1), 159-180