



سیاست‌های نگهداری و تعمیرات (نت) مبتنی بر وضعیت؛ ص ۱۴۱-۱۶۳

نویسندگان: ژانگ هو شین^۱، هونگ بائه جان^۲
مترجمان: سیاوش نصرت پناه^۳، علی اسدی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۲

چکیده

مرحله راه‌اندازی و نت، اهمیت بسیار بیشتری نسبت به مرحله‌ی نصب (ساخت) دارد و همچنین هزینه‌های بیشتری را نیاز دارد زیرا عمر بهره‌برداری را طولانی‌تر کرده و هر حادثه‌ای در طول این دوره خسارات جبران‌ناپذیری را در خواهد داشت. اخیراً و با توسعه فناوری ارتباطات اطلاعات^۵ می‌توانیم اطلاعات وضعیت دستگاه‌ها را در زمان بهره‌برداری، مشاهده کنیم. توانمندی یاد شده، این امکان را می‌دهد که ابعاد جدیدی برای توسعه کارایی استفاده از دستگاه‌ها در دسترس قرار گیرد. یک جنبه از این توانمندی، این است که با اجرای روش نت مبتنی بر وضعیت که تشخیص وضعیت دستگاه‌ها را از طریق نظارت داده‌ها (به‌صورت باسیم یا بی‌سیم) انجام می‌دهد، حالت غیرعادی دستگاه‌ها را پیش‌بینی کرده و فعالیت‌های مناسب نت و تعمیرات، مانند تعمیر یا تعویض قطعه را قبل از وقوع خرابی‌های جدی به اجرا درمی‌آورد. در این تحقیق ما چندین جنبه از روش‌های نت مبتنی بر وضعیت^۶، تعریف کرده و استانداردهای بین‌المللی وابسته، فرایندها و فنون^۷ و چند نمونه مطالعه‌ی موردی را که خودمان انجام داده‌ایم ارائه می‌کنیم.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی منابع سازمانی، مدیریت زنجیره تأمین، شایستگی، تحلیل مسیر.

1- Jong-Ho Shin

2 - Hong-Bae Jun

۳- دانشیار دانشگاه جامع امام حسین (ع) (نویسنده مسئول)

۴ کارشناسی ارشد آحاد

5- Information communication Technology

6- Condition-Based Maintenance

7- Techniques

به طور کلی تمامی فعالیت‌های فنی و مدیریتی که برای نت یا بازیابی عملکرد دستگاه در طول دوره بهره‌برداری انجام می‌شود را نگهداری و تعمیرات (نت) می‌نامند. سیاست‌های نت به شکل‌های گوناگونی دسته‌بندی شده‌اند. به صورت ساده، سیاست‌های نت را می‌توان به دو دسته نت هنگام شکست و نت پیشگیرانه تقسیم‌بندی نمود. برخی منابع مانند اربی و همکاران^۱، انواع نت را برشمرده‌اند. در این تحقیق ما نت را به سه دسته تقسیم کرده‌ایم: نت هنگام شکست^۲ BM، نت اصلاحی^۳ CM، نت پیشگیرانه^۴ PM و نت مبتنی بر وضعیت نت CBM. در نت اصلاحی، هنگامی که مشکلی به وجود بیاید فعالیت نت انجام می‌شود مثلاً بروز خرابی در دستگاه، در حالی که نت پیشگیرانه در فواصل زمانی معین و به صورت دوره‌ای، دستگاه‌ها را بررسی نموده تا از بروز حالت غیرعادی در آن جلوگیری نماید. نت مبتنی بر وضعیت از این نظر که هدفش جلوگیری از بروز نابهنجاری قبل از وقوع آن است، شاید شبیه نت پیشگیرانه باشد. توجه داشته باشید که برخی از مطالعات قبلی، این روش را با روش نت مبتنی بر زمان^۵ (TBM)، در ذیل عنوان سیاست‌های نت پیشگیرانه قرار داده‌اند. به هر حال، روش نت مبتنی بر وضعیت با روش مبتنی بر زمان نت پیشگیرانه متفاوت می‌باشد. نت مبتنی بر وضعیت بر افت کیفیت فرایند تولید دستگاه‌ها تمرکز می‌کند و بر این فرض استوار است که بیشتر نابهنجاری‌ها به صورت ناگهانی اتفاق نمی‌افتد و معمولاً انواعی از افت فرایندی از حالت عادی تا لحظه خرابی وجود دارد؛ بنابراین برخلاف نت اصلاحی و نت پیشگیرانه، نت مبتنی بر وضعیت نه تنها بر کشف و تشخیص خرابی اجزا تمرکز می‌کند بلکه همچنین کار پیش‌بینی خرابی و نظارت بر تنزل وضعیت‌ها را انجام می‌دهد. به طور کلی نت مبتنی بر وضعیت می‌تواند به عنوان روشی که برای کاهش عدم قطعیت فعالیت‌های نت به کار می‌رود، شناخته شده و مطابق نیازهای نشان داده شده از وضعیت دستگاه‌ها، اجرا گردد. در نتیجه، نت مبتنی بر وضعیت ما را قادر می‌سازد که قبل از وقوع خرابی در دستگاه‌ها، مشکلات را شناخته و آن را حل کنیم. در سیستم‌های صنعتی هرگونه خسارت به دستگاه‌ها می‌تواند به نتایج بسیار بدی منجر گردد. لذا، نت مبتنی بر وضعیت روش بسیار کارآمدی برای دستگاه‌های ارزشمند بکار رفته در صنایع می‌باشد. تاکنون رسیدن به بازده بالا در فعالیت‌های نت بسیار مشکل بوده است زیرا اطلاعات قابل مشاهده از وضعیت دستگاه‌ها در طول زمان بهره‌برداری از آن در دسترس

1- Erbe et al

2- Breakdown maintenance

3- Corrective maintenance

4- Preventive maintenance

5- Time-Based Maintenance

نبود. به‌رحال اخیراً با پیدایش فناوری هایی همچون رادیو شناسه ها^۱ RFID، حس‌گرهای متنوع، سیستم های کوچک الکترومکانیکی^۲ (MEMS)، ارتباط بی‌سیم، کنترل نظارتی و جمع‌آوری داده^۳ (SCADA)، ابزارهای تجمیع اطلاعات دستگاه‌ها^۴ (PEID)، انتظار می‌رود که این فناوری ها جهت جمع‌آوری و نظارت بر داده‌های وضعیت دستگاه‌ها در حین فعالیت به سرعت به کار گرفته شود. پیشرفت ها در فناوری اطلاعات با افزایش پهنای باند شبکه، جمع‌آوری و بازیابی داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها و قابلیت‌های کمک به تصمیم‌گیری^۵ (DS) برای انبوه داده‌های سری های زمانی، بر شتاب رشد حوزه فناوری نت مبتنی بر وضعیت افزوده است. در این محیط ما می‌توانیم اطلاعات مربوط به وضعیت و استفاده از دستگاه‌ها مانند مسیرهای توزیع، شرایط بهره‌برداری، خرابی‌ها، سرویس یا نت های انجام شده و غیره را جمع‌آوری نماییم. این داده‌ها ما را در تشخیص دقیق‌تر افت وضعیت دستگاه‌ها، توانمند می‌نماید؛ بنابراین استفاده از این اطلاعات فرصت های جدیدی جهت افزایش بازده فعالیت‌های تعمیراتی را برای ما فراهم می‌سازد. ما می‌توانیم وضعیت دستگاه را تشخیص داده، نابهنجاری ها را پیش‌بینی کرده و نت پیش‌فعال^۶ را اجرا کنیم. از آنجایی که خرابی‌های مهم یا افت دستگاه‌ها، در طول زمان بهره‌برداری از آن، می‌تواند به‌شدت بر قابل‌اعتماد بودن آن دستگاه‌ها در نظر مشتریان اثر بگذارد، ارتقاء نت برای جلوگیری از چنین خرابی‌ها یا افت‌ها قبل از وقوع، بر دیگر امور در شرکت پیشی گرفته است. بدین منظور اخیراً بسیاری از شرکت‌های سازنده، در حال تلاش برای استفاده از فناوری‌های جدید و جمع‌آوری اطلاعات دقیق هر لحظه از وضعیت دستگاه‌ها در طول زمان کار آن می‌باشند. هنگامی که اطلاعات گوناگون در دسترس قرار می‌گیرد، روش نت مبتنی بر وضعیت برای استفاده از این اطلاعات، به‌منظور جلوگیری از خرابی مهم یا افت قبل از وقوع آن، پررنگ‌تر می‌شود. اگرچه هنوز امروزه بسیاری از فعالیت‌های نت ماشین‌آلات، واکنشی می‌باشند و یا به‌صورت ندانسته پیش فعالانه است، شرکت‌های مطرح جهانی به سمت نت ((پیش‌بینی و پیشگیری))^۷ که بسیار شبیه هدف موردنظر ما از نت مبتنی بر وضعیت است، در حرکت هستند. از این منظر این تحقیق به جنبه‌های متنوعی از نت مبتنی بر وضعیت می‌پردازد. اگرچه چندین کار مروری بر ادبیات نت مبتنی بر وضعیت انجام شده است اما این تحقیق در برخی ویژگی‌ها تفاوت‌هایی با

- 1- Radio Frequency Identification
- 2- Micro-Electro-Mechanical System
- 3- Supervisory Control And Data Acquisition
- 4- Product Embedded Information Devices
- 5- Decision Support
- 6- Proactive maintenance
- 7- Predict-and-prevent

کارهای قبلی دارد؛ اولاً با ارزیابی کارهای مشابه قبلی، به جنبه‌های مختلفی از نت مبتنی بر وضعیت می‌پردازد. این جنبه‌ها شامل: تعاریف، مزایا و معایب، فرایندها، استانداردهای مربوطه، روش‌های تشخیص و پیش‌بینی و غیره می‌شود. ثانیاً تعریف نت مبتنی بر وضعیت را با توجه به ابعاد آن مانند فرایند و مزایا تصحیح نموده و تفاوت‌های بین تشخیص و پیش‌بینی را روشن کردیم. ثالثاً این تحقیق، بر اساس مطالعات موردی که خودمان انجام داده‌ایم، مباحث متفاوتی را در خصوص اجرای نت مبتنی بر وضعیت مطرح می‌سازد. این تحقیق به ترتیب زیر مرتب‌شده است:

ابتدا در بخش دوم تعاریف، استانداردهای مربوطه و مطالعات قبلی مرتبط با نت مبتنی بر وضعیت را مطرح می‌کنیم. سپس مطالعات موردی همسویی را که خودمان تاکنون انجام داده‌ایم را شرح خواهیم داد. پس‌از آن در مورد اجرای روش نت مبتنی بر وضعیت به بحث خواهیم پرداخت؛ و در نهایت این تحقیق در بخش سوم با بحث در مورد محدودیت‌ها و نتایج به پایان می‌رسد.

ابعاد نت مبتنی بر وضعیت

تعریف

نت مبتنی بر وضعیت، اغلب با واژه‌هایی مانند نت پیش‌گویانه^۱، مدیریت سلامت و پیش‌بینی^۲، نت مشروط^۳ که خاستگاه آن وزارت‌های دفاع و انرژی آمریکا می‌باشد، نظارت بر خط^۴ یا نت مبتنی بر مخاطره^۵ به کار برده می‌شود.

در حقیقت مفهوم نت مبتنی بر وضعیت، ابتدا توسط شرکت راه‌آهن ریو گراند^۶ در اواخر دهه ۱۹۴۰ مطرح گردید و ابتدا نت پیش‌گویانه نامیده می‌شد. تعاریف متنوعی در مورد مفهوم نت مبتنی بر وضعیت وجود دارد. بنگتسون^۷ به صورت مختصر آن را نت پیشگیرانه مبتنی بر نظارت دائم عملکرد و یا عوامل^۸ و انجام اقدامات بعدی، تعریف می‌کند. مطابق استاندارد انگلیس، نت مبتنی بر وضعیت به سیاست‌های نت که در پاسخ به افت قابل توجه در ماشین اتفاق می‌افتد، اطلاق می‌گردد که این افت با تغییر در عوامل وضعیت ماشین که در حال نظارت دائم می‌باشد، خود را نشان

-
- 1- Predictive Maintenance
 - 2- Prognostic and Health Management
 - 3- On-condition Maintenance
 - 4- Online Monitoring
 - 5- Risk Based Maintenance
 - 6- Rio Grande
 - 7- Bengtsson
 - 8- Parameter

می‌دهد. طبق تعریف کوتاماسو و همکاران^۱ نت مبتنی بر وضعیت یک راهبرد تصمیم سازی است که با مشاهده‌ی وضعیت سیستم و/ یا اجزای آن، تصمیم می‌گیرد که زمان انجام تعمیرات فرارسیده است یا نه. این تعاریف، اهداف نت مبتنی بر وضعیت را به ما نشان می‌دهد اما در مورد شرح فرایند نت مبتنی بر وضعیت محدودیت‌هایی دارند. از طرف دیگر بوتچر^۲ نت مبتنی بر وضعیت را این‌گونه تعریف می‌کند: مجموعه‌ای از اقدامات نت که بر اساس ارزیابی هر لحظه یا نزدیک به لحظه شرایط دستگاه‌ها انجام می‌شود و این اطلاعات از وضعیت، توسط حس‌گرهای جاسازی شده و/یا آزمون‌ها و اندازه‌گیری‌های خارجی که توسط دستگاه‌های قابل حمل صورت می‌گیرد، به دست می‌آید. این تعریف در مقایسه با تعاریف قبلی جنبه‌های فنی نت مبتنی بر وضعیت را شامل می‌شود اما در مورد هدف نت مبتنی بر وضعیت هیچ توضیحی نمی‌دهد.

در این تحقیق ما نت مبتنی بر وضعیت را به‌عنوان یک سیاست نت که با ارزیابی و سنجش وضعیت دستگاه‌ها شامل محیط کاری و پیش‌بینی مخاطرات خرابی دستگاه‌ها با استفاده از داده‌هایی که به‌صورت در لحظه جمع‌آوری شده است و فعالیت‌های نت را قبل از وقوع خرابی دستگاه‌ها انجام می‌دهد، تعریف می‌کنیم.

مزایا و معایب

به‌طور کلی ذینفعان بسیاری در طول عمر یک سرمایه حضور دارند. به‌عنوان مثال مالک دارایی، کارکنان (بهره‌برداران)، عوامل خارجی (ارائه‌دهندگان خدمات نت)، قانون‌گذاران مرتبط با ایمنی و سلامتی (دولت) و

از منظر هر کدام از این‌ها علایق و اهداف نت مبتنی بر وضعیت متفاوت خواهد بود. ما می‌توانیم تصور کنیم که مزایا و معایب روش نت مبتنی بر وضعیت چه چیزهایی هستند. تاکنون مزایای بسیاری در تحقیقات گذشته و یا گزارشات صنایع در مورد آن برشمرده‌اند. در میان آن‌ها و از جمله اولین و مهم‌ترین آن‌ها این است که نت مبتنی بر وضعیت به ما پیشاپیش هشدار قریب‌الوقوع بودن خرابی را می‌دهد و دقت پیش‌گویی خرابی را بالا می‌برد. لذا این روش نسبت به روش‌های دیگر، به‌صورت مؤثرتری می‌تواند خرابی دستگاه‌ها را کاهش دهد. از منظر مدیریت ایمنی دستگاه‌ها، نت مبتنی بر وضعیت برای انواع دستگاه‌هایی که در آن‌ها ایمنی مهم شمرده می‌شود، مفید است زیرا با آشکارسازی مشکلات قبل از وقوع و بروز مشکلات جدی‌تر، ایمنی را افزایش داده و با افزایش اطمینان از کیفیت، منجر به بالا رفتن رضایت مشتری می‌گردد. بنابراین،

1- Kothamasu et al

2- Butcher

نت مبتنی بر وضعیت، ارائه‌دهندگان این‌گونه خدمات را از مخاطرات هزینه نارضایتی مشتری بر اثر خرابی در دستگاه‌ها دورنگه می‌دارد.

به‌طور کلی با قرارداد نت، ارائه‌دهنده خدمات نت، معمولاً مسئول نت کیفیت دستگاه‌ها در طول دوره پشتیبانی برای مشتری هست. بنابراین نت مبتنی بر وضعیت برای ارائه‌دهندگان خدمات نت بسیار جذاب هست. بعلاوه، این روش به بهره‌بردار نهایی این فرصت را می‌دهد که نت برنامه‌ریزی‌شده‌ی بهتری را اجرا کند و نظارت‌های غیرضروری را کم کند یا پایان دهد و فواصل زمانی نت مبتنی بر زمان را با اطمینان افزایش دهد. بر اساس گزارش‌ها، استفاده از سیستم نت مبتنی بر وضعیت در صنایع، یکی از روش‌های کاهش هزینه‌های نت هست. این روش، با اجتناب از نت‌های غیرضروری و افزایش بازده نت‌های برنامه‌ای، می‌تواند هزینه‌ها را کاهش دهد. مطابق گفته بی^۱ صرفه‌جویی سالانه از اجرای گسترده فناوری نت مبتنی بر وضعیت در آمریکا، در حدود ۳۵ میلیارد دلار تخمین زده می‌شود. علاوه بر این، نت مبتنی بر وضعیت می‌تواند فرایند تولید را بهینه نموده و بهره‌وری را ارتقا دهد. همچنین این امکان را فراهم می‌آورد که تا زمانی که سیستم در محدوده‌ی عملکرد از پیش تعریف‌شده‌ی خود کار می‌کند، به فعالیت خویش ادامه دهد. از آنجایی که به‌آسانی، ارتباط خرابی و قطعه معیوب را از طریق نظارت بر عوامل، می‌توان به دست آورد، به فرایندهای تشخیص نیز کمک می‌کند. همچنین نت مبتنی بر وضعیت می‌تواند به یک کنترل سازگار^۲ وصل شده و بهینه شدن فرایندها را تسهیل کند. به‌هرحال علی‌رغم مزایایی که برشمردیم، نت مبتنی بر وضعیت محدودیت‌هایی نیز دارد. مطابق کار هاشمیان و بین^۳ نزدیک به ۳۰ درصد دستگاه‌ها صنعتی، هیچ بهره‌ای از نت مبتنی بر وضعیت نمی‌برند زیرا هزینه به‌کارگیری این روش معمولاً بالا است. به‌منظور اجرای نت مبتنی بر وضعیت، شرط لازم و اساسی، نصب و استفاده از تجهیزات نظارتی و توسعه‌ی سطوحی از راهبرد شبیه‌سازی یا تصمیم‌سازی هست. همچنین علاوه بر سرمایه‌گذاری روی سخت‌افزار، آموزش نیروی کار نیز لازم است؛ و این نسبتاً گران تمام خواهد شد. به‌علاوه، قابلیت‌های صرفه‌جویی با روش نت مبتنی بر وضعیت به‌ندرت در چشم مدیران جلوه می‌کند علاوه با اینکه فناوری‌ها و شیوه‌های فنی برای روش نت مبتنی بر وضعیت هنوز در ابتدای راه خود قرار دارد. این بدان معنی است که محدودیت‌هایی در اطمینان از دقت در تشخیص‌ها و پیش‌بینی‌ها وجود دارد.

1- Lee

2- Adaptive control

3- Hashemian and Bean

مروری بر ادبیات موضوع

چندین کار تحقیقی در رابطه با ادبیات موضوع نت مبتنی بر وضعیت انجام شده است. به عنوان مثال بنگتسون استانداردها و پیشنهادهای استانداردسازی مربوط به نت مبتنی بر وضعیت را بررسی نموده و جنبه های سازمانی مورد توجه در هنگام پیاده سازی نت مبتنی بر وضعیت را مدنظر قرار داده است. جاردین و همکاران^۱ تحقیقات پیرامون تشخیص ها و پیش بینی های سیستم های مکانیکی که از نت مبتنی بر وضعیت بهره می بردند با تکیه بر مدل ها، الگوریتم ها و فناوری های مورد استفاده برای پردازش داده و تصمیم سازی نت را مورد بازبینی قرار دادند. کوتاماسو و همکاران فلسفه و فنون نظارت بر سلامت سیستم و پیش بینی را مورد بررسی قرار داده اند. آن ها نمونه های نظارت بر سلامت را بررسی کرده و وارد جزئیات ابزارهای نظارت بر سلامت شده اند. به علاوه، آن ها مطالعات موردی قبلی در خصوص نظارت بر سلامت و کنترل سیستم را تشریح نموده اند. گروبال^۲ و همکاران ساختار اولیه چهارچوب نت مبتنی بر وضعیت را که در یک پروژه مشترک با SAP بدست آورده بودند، ارائه کردند. آن ها چند بعد از نت مبتنی بر وضعیت را ذکر کرده اند که شامل شناسایی نشان دهنده ها^۳، اندازه گیری نشانگرها، مدل سازی نشانگرها، پیش گویی آینده نشانگرها و در نهایت تصمیم سازی^۴ می باشد.

دراگومیر و همکاران^۵ فرایند پیش بینی را از منظرهای مختلف مورد بحث و تحلیل قرار دادند از جمله مفهوم، اقدامات و ابزارها. آن ها چهارچوبی برای اجرا و توسعه ی سیستم های واقعی پیش بینی، معین کرده و همچنین مفهوم پیش بینی را به تفصیل شرح داده و ابزارهای مورد استفاده در پیش بینی و محاسبه آن را تحلیل کردند.

پیمان سیستم های باز مدیریت اطلاعات ماشین آلات^۶ (MIMOSA)، معاهدات^۷، خطوط راهنما^۸ و توصیه هایی که مقرون به صرفه بودن یکپارچه سازی اطلاعات ماشین آلات، فناوری کنترل و بررسی وضعیت را ترویج می کند، پیشنهاد داده و تسهیل می نماید.

1- Jardine et al

2- Grobal et al

3- Indicators

4- Decision making

5- Dragomir et al

6- Machinery Information Management Open Systems Alliance

7- Conventions

8- Guidelines

اخیراً هاشمیان و بین فنون نت مبتنی بر وضعیت را بر اساس منبع داده‌ها در سه دسته طبقه‌بندی نمودند؛

۱- تکنیک فعلی نت مبتنی بر نظارت حسگرها.

۲- تکنیک نت مبتنی بر حس گرهای آزمون کننده.

۳- تکنیک نت مبتنی بر سیگنال آزمون.

پراجاپاتی و همکاران^۱ مروری مختصر بر تجهیزات نت مبتنی بر وضعیت انجام داده و مدلی برای نت مبتنی بر وضعیت مطرح نمودند. در مدل آن‌ها، آستانه تعویض پیشگیرانه و جدول زمان‌بندی نظارت را به‌عنوان متغیرهای تصمیم مورد توجه قرار دادند. کاس و لی^۲ مفهوم نت پیشگیرانه تحت وب را در یک سیستم نت الکترونیکی که از طریق اینترنت اجرا شده و اجزای سیستم را نمایش می‌دهد، ارائه نمودند. علاوه بر این هیرابل و همکاران^۳ طرح و نیازمندی‌های یک واسطه که بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از اینترنت و داده‌های قبلی از قطعه، پیشنهاد نت در مورد قطعه ارائه می‌کند را شرح داده‌اند. آن‌ها در تحقیق خود ذکر کرده‌اند که قطعه واسطه توانایی محاسبه‌ی هزینه تعویض بر اساس خرابی قطعات یدکی و حق‌الزحمه تعویض‌ها را دارد.

دیوترانوپیک و همکاران^۴ چهارچوبی برای عامل مراقبت^۵ جهت نت مبتنی بر وضعیت پیش‌گویانه از طریق سنسج چند حسگری و پیش‌بینی عملکرد ماشین یا فرایند را پیشنهاد نمودند. عامل نگهدارنده، ارزیابی خود از تنزل را بر اساس خواندن داده‌های حس گرها که ویژگی‌های حیاتی فرایندها یا ماشین‌آلات را اندازه می‌گیرند، در یک شبکه و محیط نامحدود، بنا نهاده است. عامل نگهدارنده سیستمی تعبیه شده^۶ است که دارای الگوریتم‌های محاسبه خودکار و پیش‌بینی تنزل عملکرد و عمر باقی مانده ماشین‌ها و قطعات می‌باشد.

یان و همکاران^۷ روش پیش‌گویانه برای آشکارسازی تنزل ماشین‌آلات که به‌صورت همزمان عملکرد ماشین را ارزیابی نموده و عمر مفید باقی مانده را پیش‌بینی می‌کند، ارائه نمودند. در مدل آن‌ها، عملکرد لحظه‌ای به‌وسیله قراردادن داده‌های برخط در مدل‌های منطقی ارزیابی می‌گردد و عمر باقیمانده بر اساس تاریخچه عملکرد ماشین، با استفاده از مدل ARMA برآورد می‌شود.

علاوه بر این که فو و همکاران^۸ ساختار نت پیش‌گویانه برای واحدهای مولد هیدروالکتریکی^۱ ارائه کردند، آنها سه عنصر کلیدی برای نت پیش‌گویانه مطرح کردند: نظارت و پیش‌گویی، تشخیص و پیش‌بینی و تصمیم‌سازی.

1- Prajapati et al

2- Koç and Lee

3- Hirable et al

4- Deuteranopic et al

5- Watchdog Agent

6- Embedded system

7- Yan et al

8- Fu et al

بانسال و همکاران^۲ سیستم نت پیشگویانه را برای سیستم‌های ماشینی مطرح کردند. هدف از طرح این سیستم، مکان‌یابی و آشکارسازی وضعیت‌های غیرعادی الکتریکی به‌منظور پیش‌بینی حالت‌های غیرعادی مکانیکی که خرابی در موتور را نشان می‌دهد یا ممکن است منجر به خرابی در موتور شوند، بود. آنها با استفاده از روش شبکه عصبی^۳ به پیش‌بینی عوامل ماشین پرداختند. اخیراً لی و همکاران حوزه‌های نوظهور نت الکترونیکی و اجزای حیاتی آن را معرفی نمودند. آنها همچنین ابزارهای ارزیابی عملکرد و پیش‌بینی مانند شبکه‌ی عصبی، منطق فازی، رگرسیون منطقی، مدل‌های علائم پنهان^۴ و شبکه‌های ارزش بیضی^۵ که برای سنجش پیوسته و پیش‌بینی عملکرد دستگاه‌های خاص به کار می‌رود را، ارائه کردند. گروبر و همکاران^۶ چارچوبی برای نت مبتنی بر وضعیت که بر پایه شبیه‌سازی‌های سیستم و مدل شبکه بیضی هدف‌گیری شده استوار است را پیشنهاد نمودند. همچنین آنها توانمندی سیاست‌های متنوع نت مبتنی بر وضعیت را با سناریوهای مختلف شبیه‌سازی نموده و مورد تحلیل قرار دادند و فرا مدل تبیینی برای پیش‌بینی خرابی با استفاده از مدل بیضی^۷ را بسط دادند.

استانداردهای بین‌المللی مربوطه

چندین استاندارد بین‌المللی در مورد نت مبتنی بر وضعیت وجود دارد. جدول شماره یک، استانداردهای بین‌المللی را نشان می‌دهد. برخی از آنها استاندارد پایش وضعیت و تشخیص صنایع ماشینی می‌باشند مانند ISO TC 108 ISO 13372, ISO 13373, ISO 13380, ISO 13381 شوک و لرزه مکانیکی می‌پردازد. به‌عنوان مثال ISO 13374 مدل‌ها و قالب‌های برقراری ارتباط، آماده‌سازی و نمایش داده‌ها و اطلاعات جهت روش MIMOSA OSA-نت مبتنی بر وضعیت را ارائه می‌کند. همچنین استانداردهای مربوط به تجمیع و تسهیم داده بین دستگاه‌ها تولیدکننده برای پیاده‌سازی نت مبتنی بر وضعیت مانند ISO 14224 (MIMOSA OSA-EAI) ISO 18435 نیز ذکر شده است. همان‌طور که در ISO 14224 مشاهده می‌کنید، اخیراً نه‌تنها صنایع ماشینی بلکه صنایع مهندسی پالایشگاهی مانند صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی شروع به علاقه‌مندی بیشتر به سیاست‌های نت مبتنی بر وضعیت نموده‌اند.

1- Hydroelectric generating unit

2- Bansal et al

3- Neural network

4- Hidden mark models

5- Bayesian belief networks

6- Gruber et al

7 - Bayesian model

جدول ۱: استانداردهای بین‌المللی

موضوع	استاندارد
مبدل‌های هوشمند واسط برای حس‌گرها و محرک‌ها	IEEE 1451
واسطه تبادل و سرویس هوش مصنوعی با تمامی محیط‌های آزمون	IEEE 1232
فرهنگ واژگان پایش وضعیت و تشخیص ماشین‌ها	ISO 13372
فرهنگ واژگان پایش وضعیت و تشخیص ماشین‌ها- پایش وضعیت لرزه- قسمت ۱ فرایندهای عمومی	ISO 13373-1
فرهنگ واژگان پایش وضعیت و تشخیص ماشین‌ها- قسمت ۲ پردازش، تحلیل و ارائه داده لرزش	ISO 13373-2
مدل‌ها و قالب‌های برقراری ارتباط، آماده‌سازی و نمایش داده‌ها و اطلاعات	ISO 13374
تشخیص و پایش وضعیت ماشین‌ها- راهنمای عمومی در استفاده از عوامل عملکرد	ISO 13380
تشخیص و پایش وضعیت ماشین‌ها- راهنمای عمومی پیش‌بینی	ISO 13381-1
صنایع نفت، پتروشیمی و گاز طبیعی- جمع‌آوری و تبادل داده‌های نت و قابلیت اطمینان دستگاه‌ها	ISO 14224
تشخیص و پایش وضعیت ماشین‌ها- راهنمای عمومی	ISO 17359
تجمیع کاربردهای نت و تشخیص MIMOSA OSA-EAI	ISO 18435
مدیریت دارایی	ISO 55000

فنون نت مبتنی بر وضعیت

همان‌طور که در جدول شماره دو نشان داده شده است، فنون متفاوتی برای پردازش داده، تشخیص‌ها و پیش-بینی در اجرای نت مبتنی بر وضعیت به‌کاربرده می‌شود. در نت مبتنی بر وضعیت سه دیدگاه وجود دارد؛

- دیدگاه مبتنی بر داده
- دیدگاه مبتنی بر مدل
- دیدگاه ترکیبی

مطابق تحقیق کائسارندرا^۱، دیدگاه مبتنی بر داده، توانمندی تبدیل ابعاد زیاد داده به ابعاد کم اطلاعات را دارد. این دیدگاه همچنین به دیدگاه داده‌کاوی^۲ یا یادگیری ماشین^۳ معروف می‌باشد که با استفاده از داده‌ها در طول زمان، به‌صورت خودکار مدل از رفتار سیستم را یاد می‌گیرد. به‌رحال این دیدگاه وابسته به کیفیت داده‌های عملکردی است که منوط به درک فیزیکی از دستگاه‌ها هدف می‌باشد.

1- Caesarendra
2- Data mining
3- Machine learning

در مقابل، دیدگاه مبتنی بر مدل، قابلیت ترکیب درک فیزیکی از دستگاه‌ها هدف را دارد. این روش با استفاده از بستر مدل تحلیلی (مجموعه‌ای از معادلات جبری یا تفاضلی) رفتار سیستم، شامل پدیده تنزل را نشان می‌دهد؛ اما این روش در نقطه دچار محدودیت می‌شود و آن امکان اجرای این روش روی نوع خاصی از دستگاه‌ها است. جدول شماره سه، چندین فن برای هر روش را نشان می‌دهد.

جدول (۲): مروری بر فنون نت مبتنی بر وضعیت

مرحله	فنون
داده‌پردازی	فیلترینگ کالمن (Kalman filtering)
	زمان-فرکانس / لحظه‌های زمان-فرکانس (time-frequency moments)
	آنالیز ارتعاشات (Wavelet analysis)
	مدل خود برگشتی (Autoregressive (AR) model)
	آنالیز فوریه (Fourier analysis)
	آنالیز وینگر-ویل (Wigner-Ville analysis)
	منطق فازی (Fuzzy logic)
	شبکه عصب مصنوعی (Artificial Neural network)
	الگوریتم‌های ژنتیکی (Genetic algorithms)
	تشخیص الگوی احتمالاتی (Statistical pattern recognition)
	مدل پنهان مارکوف (Hidden Markov model)
	ماشین بردار کمک (Support Vector Machine)
	روش استنتاج درخت تصمیم (Decision tree induction)
تشخیص	رگرسیون منطقی (Logistic regression)
	شبکه عصب مصنوعی (Artificial Neural network)
	نظریه قابلیت اطمینان (Reliability theory)
	تحلیل احتمال (رگرسیون) (Statistical analysis (e.g. Regression))
	تحلیل داده‌های سری‌های زمانی (Time series data analysis)
پیش‌بینی	علت یابی موردی (Case Based Reasoning (CBR))
	نظریه نوسازی (Renewal theory)
	برنامه‌ریزی ریاضی (Math programming)
	شبیه‌سازی (Simulation)
عملیات نت	تصمیم‌سازی چند معیاری (Multi-Criteria Decision Making (MCDM))

جدول ۳: مروری بر دیدگاه‌های نت مبتنی بر وضعیت

دسته‌بندی	فنون
مبتنی بر مدل	بر پایه فیزیک
	فنون کلاسیک AI (دستگاه‌های خبره مبتنی بر قانون، ماشین‌های حالت محدود، علت‌یابی کیفی)
	الگوریتم‌های عددی متداول (رگرسیون خطی، فیلتر کالمن)
دیدگاه مبتنی بر داده	دیدگاه احتمالاتی (روش احتمالاتی چند متغیره، روش احتمالی، مدل‌های حالت فضایی، مدل برگشتی)
	یادگیری ماشین (شبکه‌های عصبی، درخت تصمیم، بردارهای ماشین‌های کمکی)
دیدگاه مبتنی بر آگاهی	مبتنی بر شبکه عصب مصنوعی، شبکه بیضی، مدل پنهان مارکوف، آنالیز قطعات اصلی، مدل‌گری
	سیستم‌های خبره
	منطق فازی

فرآیند

نت مبتنی بر وضعیت را می‌توان به روش‌های زیر انجام داد:

- ۱- پایش و جمع‌آوری داده‌های وضعیت دستگاه‌ها.
- ۲- تشخیص وضعیت دستگاه‌ها به صورت در لحظه.
- ۳- برآورد سطح تنزل دستگاه‌ها و هزینه تعمیرات که وابسته به میزان سطح تنزل یا هزینه تعویض آن ... می‌باشد.
- ۴- پیش‌بینی زمان خرابی دستگاه‌ها
- ۵- انجام اقدامات مناسب مثل تعمیر، تعویض، اجازه‌ی ادامه‌ی فعالیت به همان روالی که هست و یا از رده خارج کردن آن

برای اجرای روش نت مبتنی بر وضعیت، انجام تحقیقات در مورد جمع‌آوری داده، تحلیل، فعالیت‌ها و تصمیم‌گیری لازم است. در سطح جمع‌آوری داده، حجم انبوهی از داده‌های میدانی از طریق روش‌های متفاوت جمع‌آوری داده، با استفاده از حس‌گرها، فنون باسیم یا بی‌سیم، گردآوری شده و در پایگاه داده ذخیره گردیده است. قبل از جمع‌آوری داده، شناسایی داده‌هایی که باید در طول استفاده از دستگاه‌ها برای نت مبتنی بر وضعیت جمع - آوری شود، ضروری است. برای تحلیل کردن، توسعه‌ی الگوریتم که رفتار دستگاه‌ها و درجه‌ی تنزل آن را ارزیابی کرده و عمر باقیمانده را پیش‌بینی می‌کند، لازم است.

تحلیل در نت مبتنی بر وضعیت از دو قسمت تشکیل شده است: تشخیص و پیش‌بینی. تشخیص، شامل عیب‌یابی؛ ایزوله کردن عیب یعنی تعیین محل عیب؛ و شناسایی عیب یعنی تعیین حالت خرابی. در نتیجه،

تشخیص به پردازش اولیه/ ثانویه داده، ترجمه داده و ترکیب داده‌ها جهت هم‌افزایی، چندین روش احتمالی به همراه دانش خاص دستگاه‌ها نیاز دارد. از طرف دیگر، پیش‌بینی با تخمین زمان مانده به خرابی و مخاطره وجود یا چند حالت خرابی در حال یا آینده مبتنی بر پیش‌بینی کارکرد در آینده رابطه دارد؛ بنابراین پیش‌بینی، با تخمین شاخص‌های سلامت سیستم و پیش‌بینی عمر مفید باقیمانده ارتباط دارد.

پیش‌بینی، کلمه‌ای است که به‌تازگی توسط دانشمندان، برای ارائه ترکیب دو کلمه‌ی تشخیص و پیش‌آگهی^۱ ابداع شده است. برای درک بیشتر مفهوم پیش‌بینی می‌توانید به تحقیق دراگومیر^۲ و همکاران مراجعه نمایید. پیش‌بینی با استفاده از تجمیع داده‌های حسگرها و مدل‌های پیش‌بینی اجرا می‌شود که قابلیت ارزیابی مقدار انحراف یا تنزل عملکرد دستگاه‌ها از حالت طبیعی مورد انتظار را در محل دستگاه‌ها برآورد می‌نماید. ارزیابی عمر مفید باقیمانده دستگاه هنگامی که در حال کار می‌باشد برای برنامه‌ریزی فعالیت‌های نت، ذخیره قطعات یدکی، کارایی عملیاتی و سودآوری برای مالک دستگاه اهمیت حیاتی دارد. در سطح تصمیم‌سازی، در ابتدا برخی تصمیمات باید اتخاذ شود؛ انتخاب عواملی که باید پایش شود، انتخاب دفعات بازرسی و بررسی حدود هشدارها. علاوه بر این توسعه‌ی روش تصمیم‌گیری بهترین عملیات نت مقرون‌به‌صرفه را انتخاب نماید، ضروری می‌باشد. این روش به ما می‌گوید که کدام گزینه نت در شرایط موجود، برحسب هزینه، بهترین گزینه است. بسته به مورد، چندین گزینه نت با توجه به این که چه نوع نت، چه زمانی و چگونگی اجرای نت وجود دارد. برای هر گزینه، باید مدل هزینه نت را ایجاد کرد. مقایسه مدل‌های هزینه به ما این امکان را می‌دهد که مقرون به‌صرفه‌ترین برنامه را انتخاب نماییم. در سطح اقدام، طراحی برنامه‌های اقدام برای تمامی سناریوهای ممکن، ضروری است.

درنهایت برای تجمیع این چهار مطلب، ایجاد چهارچوب لازم است. با توجه به فرایند نت مبتنی بر وضعیت، در پله‌ی اول ما باید به معماری -MIMOSA OSA نت مبتنی بر وضعیت^۳ (معماری نت مبتنی بر شرایط استاندارد باز) نگاهی بیندازیم. MIMOSA سازمانی است که استانداردهای مربوط به نت مبتنی بر وضعیت را توسعه می‌دهد. این سازمان -OSA نت مبتنی بر وضعیت را طراحی نموده است. -OSA نت مبتنی بر وضعیت استاندارد جریان اطلاعات هست برای کمک به فهم سیستم پیوسته نت مبتنی بر وضعیت. مطابق -MIMOSA OSA نت مبتنی بر وضعیت شش لایه برای اجرای مفهوم نت مبتنی بر وضعیت وجود دارد؛ جمع‌آوری داده، دست‌کاری داده، آشکارسازی حالت، ارزیابی سلامتی، ارزیابی آینده و تولید مشورت.

1- prognosis

2- Dragomir

3- MIMOSA Open Standard Architecture Condition Based Maintenance

مقدمه مطالعات موردی مربوطه

در این بخش چند مطالعه موردی در رابطه با نت مبتنی بر وضعیت که خودمان انجام داده ایم را به صورت مختصر شرح می دهیم. جدول شماره چهار خلاصه ای از مطالعه موردی ما را نشان می دهد.

تحلیل گسترش ترک در ساختمان بازوهای بلند کننده^۱ لودرهای کامیونی (TRUCK TYPE LOADER)

دومین مطالعه موردی در خصوص کاربرد روش نت مبتنی بر وضعیت برای ساختمان بازوهای بلند کننده ی خودروهای سنگین باربری که TTL نامیده می شوند، هست. الگوریتم نت مبتنی بر وضعیت مورد استفاده، بر روی تخمین عمر مفید باقیمانده (RUL) ساختمان بازوی بلند کننده تمرکز می کند. این تخمین را می توان بر اساس داده های حالت تنزل، داده های ویژگی مأموریت و داده های حالت استفاده آینده انجام داد. داده های حالت تنزل توسط ارزیابی داده های توزیع ترک ها که با حس گر ها به دست می آید، محاسبه می شود. به منظور تعیین حالت افت بازوی بلند کننده، استفاده از چند حس گر که به قسمت های مختلف محل جوش ها متصل شده اند، ضروری می باشد.

مشاهدات هر حسگر، مقادیر افت حالت مربوط به هر نقطه را فراهم می کند. حسگرها اطلاعات مربوط به ترک خوردن هر پیوند (خط جوش) در طول مدت استفاده از قسمت خاص را به دست می دهند. با به وجود آمدن هر ترک در پیوند، حسگر مقدار $8/33$ درصد افزایش خرابی را نشان می دهد. داده های حسگرها می تواند از طریق فناوری RFID و ارتباط بی سیم، به سرور مرکزی ارسال شود. به منظور برآورد RUL به روشی بسیار دقیق تر، لازم است که مفهوم ((ویژگی مأموریت)) را درک کنیم. داده های ویژگی مأموریت، شامل داده های عملکردی و داده های محیط کار می شود. داده های عملکردی، داده های نحوه استفاده از دستگاه ها می باشد که از استفاده کنندگان یا کاربرها، با توجه به حالت کاری گردآوری می شود. این داده ها توسط حسگرهای متنوعی که روی TTL ها نصب شده اند و داده های هنگام کار مانند دور موتور، مسافت طی شده، ساعت کارکرد، تعداد دفعات استارت زدن و شرایط بارگیری مانند اندازه گیری فشار سیلندر هیدرولیک، اندازه گیری میزان فشار وارده به لولاها و اندازه گیری جابجایی سیلندر هیدرولیک را جمع آوری می کنند، به دست می آید. داده های محیط کار مربوط به محل هایی است که دستگاه ها معمولاً در آنجا مورد استفاده قرار می گیرد. به عنوان مثال اطلاعات شرایط محیطی محل کار دستگاه ها مانند رطوبت، دما و نوع خاک، قابل جمع آوری هست. داده های حالت کاری آینده، شرایط کاری از پیش تعیین شده ای هستند که برای استفاده در آینده تعریف شده اند مانند حالت تجاری یا مسابقه ای در خودروی سواری. برای TTL ها مثال های حالت کاری آینده که می توان به آن ها اشاره کرد

عبارت‌اند از: احداث جنگل، راه‌سازی، ساختمان‌سازی، کار در معدن شن و ماسه، تخریب ساختمان، کار در انبار کشتی و غیره. انتخاب حالت کاری آینده قسمت یعنی اینکه در زمان فعلی تصمیم بگیرد که در آینده چه مأموریتی انجام خواهد شد. بدون شناخت و تقسیم‌بندی جزئی ویژگی مأموریت و انتخاب حالت کاری آینده، برآورد دقیق RUL بسیار مشکل است. برخی از TTLها در محیط کاری خشن یا تحت شرایط کاری سختی استفاده می‌شوند درحالی‌که برخی دیگر در محیط معتدل یا در شرایط سبک و راحت به‌کارگیری می‌شوند؛ بنابراین بر اساس شرایط محیطی و کاری، تنزل‌ها متفاوت خواهد بود. این نشان‌دهنده‌ی این مطلب است که برآورد RUL باید با توجه به داده‌های حالت کاری حال و آینده انجام شود. بر اساس حالت کاری انتخاب شده، بخش‌بندی معمولی برای داده‌های حالت کاری اجرا شده و هر بخش در پایگاه داده حالت کاری برای استفاده مجدد ذخیره می‌گردد. هنگامی‌که حالت کاری آینده تشخیص داده شود، داده‌های حالت کاری مربوط به آن از پایگاه داده بازیابی شده و در برآورد RUL استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، بارگذاری داده‌های وضعیت برای تحلیل محدود عناصر¹ (FEA) به‌کاربرده می‌شود. با استفاده از این شرایط به‌عنوان پیش‌فرض و مدل CAD برای بازوی بلند کننده، FEA اجازه‌ی بازیابی اطلاعات زمانی تنش در هر نقطه از ساختار و به‌ویژه محل نصب حسگرهای اندازه‌گیر را می‌دهد. هنگامی‌که ویژگی‌های تنش‌های محلی آینده به دست آمد، چرخه‌های تنش باقیمانده که به ساختار وارد می‌شود، قابل‌محاسبه خواهد بود. این محاسبه با استفاده از نظریه مکانیک ترک و داده‌های تنزل حالت فعلی که توسط حسگرها به‌دست‌آمده انجام می‌شود؛ بنابراین عمر باقیمانده موضعی، با استفاده از روش توسعه‌ی ترک نظریه مکانیک ترک، برآورد می‌شود.

تحلیل داده‌های حوزه کار؛ لوکوموتیو

وظیفه مهم در اجرای نت مبتنی بر وضعیت، برقراری ارتباط بین داده‌های پایش شده استفاده از دستگاه‌ها و وضعیت آن می‌باشد. درواقع بسیاری از صنایع، حجم معتناهایی از داده‌های استفاده از دستگاه‌ها را گردآوری می‌نمایند اما آن‌ها را تحلیل نمی‌کنند یا با استفاده از روش نظام‌مند از آن بهره نمی‌برند؛ بنابراین مطالعه‌ی موردی سوم بر تحلیل انبوه داده‌های استفاده از دستگاه‌ها از نظر روش نت مبتنی بر وضعیت تمرکز می‌کند. این مطالعه‌ی موردی بر روی داده‌های کاری لوکوموتیو در طول سال انجام شده است. لوکوموتیو، تعداد بسیار زیادی حسگر برای پایش، جمع‌آوری و ذخیره‌سازی داده‌های کاری اجزا و قسمت‌ها در PEID (رایانه‌ی منصوب بر لوکوموتیو)، هنگام کار، دارد. داده‌های جمع‌آوری‌شده در PEID جهت تحلیل به‌صورت دوره‌ای به سرور مرکزی ارسال می‌شود. درهرحال، شرکت کاربر لوکوموتیو هیچ‌گونه روش مؤثری برای

استفاده نظام‌مند داده‌های عملکردی جمع‌آوری شده از دستگاه‌ها ندارد. بنابراین با داده‌های عملکردی به‌دست‌آمده مانند دما، جریان، ولتاژ، فشار و غیره، تحلیل خرابی به‌صورت دقیق‌تر امکان‌پذیر خواهد بود. این داده‌ها که توسط حسگرها نظارت می‌شود به پایگاه داده‌ی اصلی که در شرکت قرار دارد، فرستاده و ذخیره می‌شود؛ بنابراین ارتقای سیاست نت کنونی برای افزایش کارایی عملکرد لوکوموتیو (روش نت مبتنی بر وضعیت) ضروری است. پیش‌بینی وضعیت دستگاه‌ها بر اساس تحلیل داده‌های استفاده از دستگاه‌ها، یکی از چالش‌برانگیزترین امور برای فهم روش نت مبتنی بر وضعیت می‌باشد. بدین منظور روش‌های متنوعی مانند تحلیل رگرسیون منطقی، شبکه‌ی عصب مصنوعی (ANN)، مدل بازگشتی میانگین متحرک فشرده (ARIMA)، تحلیل قابلیت اطمینان و ... مورد مطالعه و اجرا قرار گرفت. در این مطالعه - ی موردی از ANN برای برقراری ارتباط بین داده‌های پایش شده‌ی استفاده از دستگاه‌ها و وضعیت آن بهره برده ایم. این مطالعه‌ی موردی که روی داده‌های کاری لوکوموتیو انجام شده است، به‌منظور پیش‌بینی وقوع خرابی بعدی صورت گرفته است. این پیش‌بینی با استفاده از چندین روش ANN که به دنبال برقراری ارتباط بین داده‌های جمع‌آوری شده از خرابی اجزا و قسمت‌ها و وضعیت لوکوموتیو هستند، انجام می‌شود. برای یافتن بهترین نوع ANN جهت مدل‌سازی نت مبتنی بر وضعیت، چندین مدل ANN، با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از لوکوموتیوها هنگام کار، آزمون شده‌اند. هرگاه خرابی در طول کار لوکوموتیو اتفاق می‌افتد، ANN، با استفاده از داده‌های ذخیره‌شده برای هر نوع خرابی در پایگاه داده، تعلیم می‌یابد. با استفاده از پایش داده‌های کنونی محیطی و کاری، ANN آموزش دیده برای برآورد زمان اتفاق خرابی بعدی و نرخ تکرار خرابی استفاده می‌شود.

تحلیل ارتعاشات؛ کمپرسور

در این مطالعه‌ی موردی الگوریتم را که زمان خرابی بعدی کمپرسور را پیش‌بینی می‌کند، شرح داده‌ایم. این کمپرسورها یکی از دستگاه‌ها مکانیکی حیاتی در حمل^۱، تولید^۲، ذخیره‌سازی^۳ و تخلیه^۴ گاز طبیعی مایع (LNG FPSO) می‌باشد. امروز با توجه به این واقعیت که حادثه در حین کار LNG FPSO، موجب بروز خسارت‌های جبران‌ناپذیری می‌شود، بسیاری از مطالعات متوجه توسعه‌ی کاربرد یک سیستم نت برای تأسیسات

- 1- Floating
- 2- Production
- 3- Storage
- 4- Offloading

بازرزش مانند LNG FPSO شده‌اند. LNG FPSO از بسیاری از دستگاه‌ها و امکانات تشکیل شده است. در میان این دستگاه‌ها و امکانات، در این مطالعه‌ی موردی، ما روی یک کمپرسور گاز که نه‌تنها در نیروگاه‌های ساحلی کاربرد دارد بلکه وسیله‌ی مهم در نیروگاه‌های دریایی می‌باشد، تمرکز می‌کنیم. کمپرسور گاز وسیله‌ی مکانیکی است که با کاهش حجم گاز، فشار آن را افزایش می‌دهد. در بین انواع کمپرسورها، ما مدل کمپرسور گریز از مرکز را انتخاب نمودیم. به‌منظور پایش وضعیت کمپرسور گاز و برآورد زمان خرابی بعدی بر اساس داده‌های وضعیت جمع‌آوری شده، از بین چندین عامل وضعیت، ما بر داده‌های عامل لرزش تمرکز نمودیم زیرا این عامل در تشخیص وضعیت دستگاه‌ها دوار مانند کمپرسور به‌صورت گسترده‌ای کاربرد دارد. داده‌های بدست آمده از حس کردن لرزش نسبی شفت و بلبرینگ معمولاً برای ارزیابی وضعیت کمپرسور LNG FPSO استفاده می‌شود. این مطالعه‌ی موردی وضعیت یک کمپرسور را بر اساس داده‌های لرزش نسبی شفت آن ارزیابی نموده است. مطابق ISO 7919 در خصوص لرزش نسبی شفت ماشین‌های دوار، چهار سطح برای محدوده لرزش پیشنهاد شده است؛

- محدوده عملکرد راه‌اندازی
- محدوده لرزش خوب
- محدوده هشدار و
- محدوده‌ی لغزش (لقی).

در این مطالعه‌ی موردی دامنه‌ی لرزش یعنی مقدار P-P را به‌عنوان ملاک ارزیابی، مورد استفاده قرار دادیم. برای اجرای روش نت مبتنی بر وضعیت در خصوص یک کمپرسور LNG FPSO این مطالعه‌ی موردی، الگوریتم پیش‌بینی بر پایه نظریه زمان پیوسته مارکوف را ارائه نموده است. در الگوریتم پیشنهادی، پس از جمع‌آوری تاریخچه لرزش نسبی شفت که بر اساس تغییر حالت بین چهار سطح پیش گفته دسته بندی شده‌اند، ابتدا می‌توان نرخ تغییر حالت را برآورد نموده سپس بر اساس توسعه‌ی این فرمول می‌توان زمان وقوع خرابی بعدی را پیش‌بینی نمود. به‌منظور نشان دادن مفید بودن الگوریتم پیشنهادی، یک مثال با استفاده از داده‌های تولیدشده حسگر لرزش شفت، در این مطالعه‌ی موردی شرح داده شده است. برای اطلاعات بیشتر به تحقیق چو و همکاران مراجعه نمایید.

چند نکته بحث‌انگیز در اجرای روش نت مبتنی بر وضعیت وجود دارد. اول اینکه نت مبتنی بر وضعیت در مورد هم‌ی موارد همیشه مؤثر نیست. منافع اقتصادی بر اساس نوع دستگاه‌ها و طول عمر آن متفاوت خواهد بود. در نتیجه، درجه‌ی اهمیت عملیات نت که به تحلیل جزئی راهبرد نت نیاز دارد، متفاوت می‌شود. دستگاه‌های متنوعی مانند نیروگاه‌های بزرگ، صنایع یا دستگاه‌های مصرف‌کننده ارزشمند یا کم‌ارزش وجود دارد. برای نیروگاه‌های بزرگ یا دستگاه‌های باارزش، نت مبتنی بر وضعیت یک راه‌حل خوب خواهد بود زیرا خرابی در دستگاه‌ها موجب بروز زیان‌های بزرگ می‌شود. به‌رحال برای کالاهای پرمصرف مانند خودروها، در زمینه هزینه‌های نت، نت مبتنی بر وضعیت مؤثر نخواهد بود؛ بنابراین ما باید منافع اقتصادی را هنگام کاربرد یک راهبرد جدید نت مورد توجه قرار دهیم. در نتیجه، تعریف یک مدل اقتصادی برای عملیات جدید نت و تعیین منافع و هزینه‌ها ضروری می‌باشد. علاوه بر این چگونگی کاربرد نت مبتنی بر وضعیت در موقعیت‌هایی که داده‌های کمی داریم یا اصلاً داده‌ای نداریم، یک مورد چالش‌برانگیز است. این برای سیستم‌هایی که تازه راه‌اندازی شده‌اند و هیچ‌گونه داده‌ی مشاهده خطا یا اطلاعات نت وجود ندارد، معمول است. در این زمینه، همانطور که سی و همکاران^۱ ذکر کرده‌اند، مقدار و تمامیت داده‌ها برای مدل‌های تمام احتمالاتی، ناکافی می‌باشد؛ بنابراین شاید گزینه بهتر این باشد که با کمک علم طراحی و ساخت، مدل‌های فیزیکی را توسعه دهیم. اگر در ابتدای بکارگیری نت مبتنی بر وضعیت، فنون آموزش ماشین برای تشخیص و پیش‌بینی استفاده می‌شوند، استفاده از روش یادگیری نظارت نشده برای ساخت یک مدل مرجع تشخیص حالت‌های عادی و غیرعادی شاید بهتر باشد؛ و پس‌از آن روش آموزش نظارت شده و آموزش تقویت‌شده برای دقیق‌تر ساختن الگوریتم‌های نت مبتنی بر وضعیت می‌تواند به کار رود.

همانطور که موبلی^۲ ذکر کرده نکته‌ی دیگر قابل بحث این است که اکثر روش‌های نت مبتنی بر وضعیت با دستگاه‌ها مورد نظر مانند یک واحد مجزا در سیستم رفتار می‌کنند و نه یک قسمت از یک سیستم یکپارچه؛ بنابراین هیچ تلاشی برای تأثیر متغیرهای سیستم (مانند نرخ جریان، دما، بار، سرعت و ...) بر هر جزء از سیستم انجام نمی‌شود. نت مبتنی بر وضعیت یک جعبه نیست که شما آن را خریده و در طرح اصلی یا سیستم خود قرار دهید بلکه یک مجموعه یکپارچه از فناوری‌ها، فرایندها و قابلیت‌ها است که با یکدیگر به درک نت مبتنی بر وضعیت کمک می‌کنند. روش‌ها و راه و رسم نت مبتنی بر وضعیت در طول دهه‌های اخیر به‌صورت پیوسته توسعه یافته. به‌رحال نت مبتنی بر وضعیت در سطح دستگاه‌ها انجام می‌شود (یک قطعه از دستگاه در هر لحظه) در حالی که روش‌های توسعه یافته پیش‌بینی، از خواص دستگاه یا کاربرد

1- Si et al

2- Mobley

می‌باشند. در هر صورت به منظور رسیدن به منافع واقعی روش نت مبتنی بر وضعیت، لازم است کاربرد نت مبتنی بر وضعیت نه تنها برای یک قسمت از دستگاه بلکه در سطح یک سیستم یکپارچه مورد توجه قرار گیرد. علاوه بر این، موضوع چالشی این است که رابطه‌ی نزدیک بین ارتقاء طراحی دستگاه‌ها و نت مبتنی بر وضعیت ایجاد کنیم. جمع‌آوری داده‌های وضعیت دستگاه‌ها در طول دوره استفاده، باعث خودنمایی دستگاه‌ها و یا ارتقاء عملکرد دستگاه‌ها از راه‌های متنوع می‌شود. برای مثال ما می‌توانیم بهینه‌سازی عملیات نت را مانند ارتقای طراحی دستگاه‌ها مورد توجه قرار دهیم. علیرغم علاقه‌ی زیاد در به‌کارگیری نت مبتنی بر وضعیت در حوزه‌های مختلف، کمبود روش‌ها برای ترکیب اطلاعات استفاده از دستگاه‌ها با ارتقای طراحی، با استفاده از روش نظام‌مند، وجود دارد. اگرچه چند کار تحقیقی در این زمینه انجام شده است اما هنوز محدودیت‌هایی در ساختار تصمیم یا راهنمایی برای ارتقای طراحی دستگاه‌ها با استفاده از اطلاعات وضعیت بدست آمده منتج از داده‌های جمع‌آوری شده استفاده‌ی دستگاه‌ها در طول کار، وجود دارد. برای مثال مقدار RUL در زمان مشخص را از نظر نظریه می‌توان برابر با تفاوت بین عمر طراحی شده¹ و زمان کارکرد² دستگاه‌ها قرار داد. $(RUL = DLT - OT)$ مقایسه بین این مقادیر به ما می‌گوید که آیا دستگاه‌ها به‌صورت مناسب استفاده شده است یا نه. در نتیجه اگر عمر باقیمانده، از عمر باقیمانده نظریه بیشتر باشد پس ما می‌توانیم دستگاه‌ها را بدون هیچ فعالیت نت رها کرده یا شدت حالت کاری را برای کاربردهای فشرده‌تر تنظیم کنیم. در غیر این صورت فعالیت‌های نت مبتنی بر وضعیت باید اجرا گردد؛ بنابراین استفاده از یک روش تصمیم یار (DS) برای به‌کاربردن داده‌های وضعیت تحلیل شده دستگاه‌ها در کمک به ارتقای طراحی آن لازم می‌باشد.

در نهایت بحث در مورد اینکه چه موضوعاتی در اجرایی کردن نت مبتنی بر وضعیت به‌صورت در لحظه وجود دارند، ارزشمند می‌باشد. به‌منظور درک نت مبتنی بر وضعیت، چند چالش ICT وجود دارد که باید در فضای واقعی حل شوند که عبارت‌اند از: کیفیت داده‌های حسگرها با توجه به فرکانس جمع‌آوری، نویز (اختلال)، سطح جزئیات داده‌های حسگر، دسترس‌پذیری داده، مشکل ارتباط بی‌سیم، فرکانس تشخیص و پیش‌بینی و غیره. از منظر جمع‌آوری داده، ما باید به‌اندازه‌ی داده‌های جمع‌آوری شده توجه کنیم. در نت مبتنی بر وضعیت، اندازه‌گیری توسط حسگرها می‌تواند در بازه‌های زمانی منظم و یا به‌صورت پیوسته و در لحظه صورت بگیرد. اگر ما بتوانیم دستگاه‌ها را نظارت کرده و داده‌های وضعیت را به‌صورت در لحظه جمع‌آوری کنیم، این بهترین راه تحلیل وضعیت دستگاه‌ها می‌باشد. در این صورت با این روش بار سنگینی از داده‌ها جمع‌آوری می‌شود که منجر به هزینه زیاد می‌گردد. از منظر عملی، جمع‌آوری داده‌های وضعیت دستگاه‌ها به‌صورت در لحظه و پیوسته، مقرون به‌صرفه نمی‌باشد. در واقع جمع‌آوری داده در دوره‌های زمانی خاص انجام می‌شود یعنی هر پنج دقیقه، هر یک ساعت و ... ؛

1- Designed Life Time

2- Operating Time

بنابراین با توجه به حجم داده‌های جمع‌آوری شده، لازم است که مناسب‌ترین دوره‌ی زمانی برای جمع‌آوری داده را انتخاب نمود. از طرف دیگر ما باید سازوکار انتقال داده را در نظر بگیریم. به‌طور کلی داده‌های وضعیت دستگاه‌ها می‌تواند از طریق حسگرها یا رایانه‌های منصوب روی دستگاه‌ها به روش ارتباط بی‌سیم یا باسیم جمع‌آوری گردد. برای تبادل اطلاعات بین حسگرها و کامپیوتر میزبان، ما می‌توانیم از برچسب‌های RFID به‌عنوان فرستنده و یا ارسال مستقیم داده‌های جمع‌آوری شده از حسگرها به کامپیوتر میزبان استفاده کنیم. از آنجاکه داده‌های مختلفی برای انتقال داده وجود دارد، لازم است که راه مؤثری برای انتقال داده با توجه به هزینه و قابلیت اطمینان، تعیین گردد.

نتیجه‌گیری

هنگامی که داده‌های بزرگی وجود دارد، شکی نیست که روش نت مبتنی بر وضعیت ابزار مهم برای صنایع به شمار می‌آید. اگرچه مفهوم نت مبتنی بر وضعیت چند دهه قبل ارائه شده است اما اخیراً این روش با توجه به پدیدار شدن توسعه‌ی ICTs، در صنایع بسیار پررنگ‌تر شده است. به‌منظور پیاده‌سازی روش نت مبتنی بر وضعیت در درجه‌ی نخست لازم است بدانید که نت مبتنی بر وضعیت چیست. بدین منظور این مطالعه‌ی موردی نت مبتنی بر وضعیت را از چندین منظر موردبررسی قرار داد. تعریف، منافع و موانع و استانداردهای بین‌المللی شرح داده شد. علاوه بر این داده‌ها، فرایندها و فنون برای اجرای نت مبتنی بر وضعیت ارائه گردید. به‌اضافه اینکه چند مطالعه‌ی موردی متنوع در مورد نت مبتنی بر وضعیت به‌صورت مختصر شرح داده شد. در نهایت به چند مطلب چالشی و نکات بحث برانگیز برای درک روش نت مبتنی بر وضعیت پرداخته شد. اگرچه این تحقیق سعی کرد به چندین جنبه از نت مبتنی بر وضعیت بپردازد اما هنوز محدودیت‌هایی وجود دارد که می‌تواند در کارهای تحقیقی آینده مدنظر قرار گیرد.

اول؛ محدودیت‌هایی در یافتن جزئیات بیشتر در خصوص ویژگی‌های فناورانه در رابطه با نت مبتنی بر وضعیت. دوم؛ از آنجاکه این مطالعه تمامی کارهای مرتبط قبلی را دربر نمی‌گیرد، ممکن است محدودیت‌هایی در یافتن تحلیل‌های واقعی‌تر در روش نت مبتنی بر وضعیت وجود داشته باشد. علی‌رغم محدودیت‌های فوق، عقیده داریم که این تحقیق به مردم در کمک به درک جزئی‌تر مفهوم نت مبتنی بر وضعیت یاری خواهد رساند.

تذکره:

این تحقیق توسط برنامه توسعه‌ی فناوری‌های راهبردی همگرایی صنعتی، حمایت شده که سرمایه‌گذار آن وزارت صنعت، تجارت و انرژی کره بوده است. (برنامه شماره 10045212؛ سیستم‌های نت پیشگویانه برای عملیات یکپارچه و هوشمند نیروگاه‌های فراساحلی)

Audisio E, Borello C, Borgarello L, Gambera M. **A Statistical Approach to Prognostic**. Technical Report, CRF;2004.

Bansal D, Evans DJ, Jones B. **Areal-time predictive maintenance system for machine systems**. International Journal of Machine Tools and Manufacture 2004;44:759–66.

Bengtsson M. **Condition Based Maintenance Systems an Investigation of Technical Constituents and Organizational Aspects**. Mlardalen University Licentiate Thesis; 2004.

Butcher SW. **Assessment of Condition-Based Maintenance in the Department of Defense**. Technical Report; 2000.

Caesarendra W. **Model-based and Data-Driven Approach for Machine Prognostics (Master Thesis)**. Pukyong National University; 2010.

Chen ZS, Yang YM, Hu Z. **A technical framework and roadmap of embedded diagnostics and prognostics for complex mechanical systems in prognostics and health management system**. IEEE Transactions on Reliability 2012; 61(2)314–22.

Cho SJ, Jun HB, Shin JH, Choi S. **A study on the prognosis maintenance algorithm for LNGFPSO compressor** .In :Proceedings of Scientific Cooperations Workshops on Engineering Branches; 2014; Turkey, Istanbul; p.233–238.

Dieulle L, B'érenguer, C, Grall A, RoussignolM. **Continuous time predictive maintenance scheduling for a deteriorating system**. In : Proceedings of IEEE Annual Symposium on Reliability and Maintainability; 2001; p.150–155.

Djurdjanovic D, Lee J, Ni J. **Watchdog Agent an infotronics-based prognostics approach for product performance degradation assessment and prediction**. Advanced Engineering Informatics 2003;17:109–25.

Dragomir OE, Gouriveau R, Dragomir F, Minca E, Zerhouni N. **Review of prognostic problem in condition-based maintenance** . In: Proceedings of the European Control Conference ;2009; Budapest, Hungary.

Erbe H, Morel G, Lee J, Iung B, L'éger JB, Seliger E, et al. **Infotronic technologies for e-maintenance regarding the cost aspects**. In: Proceedings of IFAC 2005; 2005.

Fu C, Ye L, Liu Y, Yu R, Iung B, Cheng , Y, et al. **Predictive maintenance in intelligent control-maintenance-management system for hydroelectroic**

generating unit. IEEE Transactions on Energy Conversion 2004;19(1)179–86.

Groba C, Cech S, Rosenthal F, Gössling A. **Architecture of a predictive maintenance framework.**In: Proceedings of 6th International Conference On Computer Information. 2007.

Gruber A, Yanovski S, Ben-gal I. **Condition-based maintenance via simulation and a targeted baysian network meta model.** Quality Engineering 2013;25(4)370–84.

Hashemian HM, Bean WC. **State-of-the-art predictive maintenance techniques.** IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement 2011;60(10)3480–92.

Hiraoka H, Iwanami N, Fujii Y, Seya T, Ishizuka H. **Network agents for life cycle support of mechanical parts.** In: Proceedings of Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing 2003:61–4.

Jardine AKS, Lin D, Banjevic D. **A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance.** Mechanical Systems and Signal Processing 2006;20:1483–510.

Jun HB, Kiritsis D, Gambera M, Xirouchakis P. **Predictive algorithm to determine the suitable time to change automotive engine oil.** Computers and Industrial Engineering 2006;51:671–83.

Kobbacy KAH, Murthy DNP. **Complex system maintenance handbook.** India: Springer;2008.

Koc M, Lee J. **A system framework for next-generation E-maintenance systems.** Transaction of Chinese Mechanical Engineer 2001;12.

Kothamasu R, Huang SH, Verduin WH. **System health monitoring and prognostics-a review of current paradigms and practices.** International Journal of Advanced Manufacturing Technology 2006;28:1012–24.

Laakso K, Rosqvist T, Paulsen JL. **The Use of Condition Monitoring Information for Maintenance Planning and Decision-Making.** Technical Report. ISBN877891363. Denmark: Pitney Bowes Management Services;2002.

Lee J. Teleservice engineering in manufacturing: **challenges and opportunities.** International Journal of Machine Tools & Manufacture 1998;38 (8)901–10.

Lee J. Approaching zero downtime. **The Center for Intelligent Maintenance Systems**. Harbor Research Pervasive Internet Report; 2003.

Lee J, Ni J, Djurdjanovic D, Qiu H, Abd Liao H. Intelligent prognostics tools and e-maintenance. *Computers in Industry* 2006;57:476–89.

Mobley RK. **An Introduction to Predictive Maintenance**. Woburn ,MA, USA: Elsevier Science publisher; 2002.

Peng Y, Dong M, Zuo MJ. **Current status of machine prognostics in condition-based maintenance**: a review. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2010;50:297–313.

Poongodai A, Reader SB. **AI technique in diagnostics and prognostics**. In: *Proceedings of 2nd National Conference on Future Computing*; 2013.

Prajapati A, Bechte IJ, Ganesan S. Condition-based maintenance: **a survey**. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 2012;18(4) 384–400.

Schwabacher MA. **A survey of data-driven prognostics**. In: *Proceedings of the AIAA Infotech @ Aerospace Conference*; Virginia, USA;2005.

Shin J, Jun HB. **An Application of Artificial Neural Network into Predictive Maintenance Using Monitored Product Usage Data**. Working Paper; 2014.

Shin J, Jun HB, Cattaneo C, Kiritsis D, Xirouchakis P. **A method for evaluating product degradation status using product usage data**. *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers* 2013;18(1)36–48.

Si X, Wang W, Hua C, Zhou D. **Remaining useful life estimation**: a review on the statistical data driven approaches. *European Journal of Operational Research* 2011;213:1–14.

Sun B, Zeng S, Kang R, Pecht M, **Benefits analysis of prognostics in systems**. In: *Proceedings of 2010 Prognostics & System Health Management Conference*;2010.

Tsang AHC. **Condition-based maintenance**: tools and decision making. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 1995;1(13)3–17.

Tobon-Mejia D, Medjaher K, Zerhouni N, Tripot G. **A data-driven failure prognostics method based on mixture of gaussians hidden Markov models**. *IEEE Transactions on Reliability* 2012;61(2)491–503.

Yan J, Koç M, Lee J. **A prognostic algorithm for machine performance assessment and its application**. *Production Planning & Control* 2004;15(8)796–801.