تخمین عمر مفید باقیمانده تجهیزات دفاعی با استفاده از مدل مدیریت سلامت تجهیزات و پیش‌بینی عیوب(PHM)، (مطالعه موردی: سامانه راداری)

سعید رمضانی[1*]، علیرضا معینی[2]

دانشگاه جامع امام حسین(ع) دانشگاه علم و صنعت ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴

چکیده

تکامل سیستم‌های پایش تشخیص عیوب[3]، در سامانه‌های آفندی و پدافندی، پهپادها، جنگنده‌ها و سیستم‌های پیچیده دیگر، می‌تواند تشخیص پیشگویانه عیوب را از لحاظ فنی، مطلوب و ممکن سازد. در سال‌های اخیر، مدل مدیریت سلامت تجهیزات و پیش‌بینی عیوب(PHM[4]) با تشکیل یک پیوند قوی از علوم مهندسی، کامپیوتر و قابلیت اطمینان، به‌وجود آمده است. به همین دلیل، بیشتر رویکردهای هوشمند نگهداری وتعمیرات، در زمینه تشخیص و پیش‌بینی هوشمند عیوب به کارگیری شده‌اند. کشف دانش مفید در خصوص تشخیص عیوب و پیش‌بینی عمر تجهیزات نظامی و تعیین آمادگی تجهیزات می‌تواند بر تعیین توانایی استمرار آمادگی تجهیزات در مأموریت‌های نظامی در شرایط نبرد، مؤثر باشد. مسئله مهم این است که چگونه می‌توان روشی برای تعیین توانایی استمرار آمادگی تجهیزات مأموریت‌های نظامی در شرایط نبرد، ارائه نمود؟

در این مقاله با استفاده از سیستم PHM، سلامت دستگاه، جزء یا سیستم، در هر نقطه و زمانی می‌تواند شناخته شده و از وقوع احتمالی شکست پیشگیری کند. همچنین دستیابی به نقصان صفر امکان‌پذیر می‌شود.

از طرف دیگر در تجهیزات و سامانه‌های پدافندی، از ایجاد ناگهانی خرابی در کل سامانه و از هزینه‌های جانی و مالی جبران‌ناپذیر ناشی از بروز این مشکل جلوگیری می‌شود. بنابراین از اهداف این مقاله می‌توان به استمرار آمادگی تجهیزات در مأموریت‌های نظامی اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت سلامت و پیش بینی (PHM)، عمر مفید باقیمانده (RUL)، استمرار آمادگی تجهیزات، پردازش داده[5]، سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری[6]

۱- مقدمه

سازمان‌های نظامی و صنعتی پیوسته درپی افزایش سطح قابلیت اطمینان[7] و دسترسی‌پذیری[8] تجهیزات خود هستند. هدف اصلی آنها حداکثر کردن کارکرد بدون خطا و حداقل کردن هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و عملیات می‌باشد. یکی از جنبه‌های چالش‌برانگیز سیستم‌های مدرن نگهداری و تعمیرات، پیش‌بینی عیوب است که ارتقاء ایمنی بسیاری از ماشین‌آلات و سیستم‌های پیچیده را در بر دارد. تکامل سیستم‌های پایش تشخیص عیوب[9]، برای سیستم‌های پیچیده‌ای مثل جنگنده‌ها و پهپادهای پیشرفته، تشخیص عیوب پیشگویانه را از لحاظ فنی، مطلوب و ممکن می‌سازد.

تشخیص و پیش‌بینی، اصالتاً از حوزه طبی و دارویی نشأت گرفته است، به‌طوری‌که تکنولوژی نت ماشین‌آلات با تشخیص و پیش‌بینی ادغام و تلفیق شده و هدف آن تشخیص و پیش‌بینی عیوب و تخمین عمر باقیمانده یک سامانه به‌شمار می‌آید.

امروزه ابزارهای حرفه‌ای منطقی، شامل سنسورها،

۱*- عضوهیأت علمی دانشگاه امام حسین(ع)، دانشکده فنی و مهندسی، نویسنده پاسخگو، پست الکترونیک: Ramezani_sr@ind.iust.ac.ir، نشانی: تهران، اتوبان شهید بابایی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۲- عضو هیأت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی صنایع، پست الکترونیک: moini@iust.ac.ir

3- Diagnostic Monitoring System
4- Prognostics and Health Management
5- Data Processing
6- Decision Support Sys
7- Reliability
8- Availability
9- Diagnostic Monitoring System

کنترولرها و دستگاه‌های مرکب، برای تشخیص رفتارهای ماشین وجود دارد. این ابزارها، می‌توانند برای به‌دست آوردن و آنالیز سیگنال‌های حاصله از ماشین و فرآیند استفاده شوند. همچنین تعداد زیادی از روش‌های تشخیصی خبره، برای ریشه‌یابی علل شکست یک سامانه ابداع شده است.

پیش‌بینی و تشخیص عیوب و در نهایت تخمین عمر مفید باقیمانده، در حوزه صنعت دفاعی به علت ماهیت کارکردی که تجهیزات و سامانه‌های دفاعی دارند و به دلیل اینکه این نوع سامانه‌ها باید در هنگام مأموریت دارای یک عملکرد صحیح و بلادرنگ[1] باشند، اهمیت فرآیند پیش‌بینی و تشخیص عیب را در صنعت دفاعی دو چندان کرده است. وضعیت یک عیب اولیه کشف شده در سامانه‌ها و تجهیزات هوشمند نظامی، باید رصد و پایش شود، زیرا یک عیب کوچک قابلیت پیشروی و تبدیل شدن به یک عیب بزرگ را دارد و اینکه رفع عیب به وسیله برخی فعالیت‌های نت یا تعویض آن، تضمین می‌شود.

۱- مرور ادبیات

۲-۱- تعریف و نحوه پیدایش سیستم PHM[2]

از لحاظ تاریخی، برای اولین بار مفهوم PHM در زمینه‌های پزشکی معرفی شد. پیش‌بینی در حوزه پزشکی به‌عنوان پیش‌بینی پیامدهای آتی و خروجی فرآیندهای بیماری، تعریف شده که ممکن است شامل نگرانی دوره طبیعی بیماری یا نتیجه بیماری پس از درمان باشد. طبق نظر وارد و پچت[3] (۲۰۱۲) در عمل، PHM از بخش انرژی و بخش دفاع ایالات متحده (DOD) نشأت گرفته است و انگیزه آن کاهش هزینه‌های پشتیبانی و عملیاتی سیستم‌های صنعتی و نظامی بزرگ، در هنگام نگهداشت این سیستم‌ها محسوب می‌شود. همچنین افزایش قابلیت دسترسی در این سیستم‌ها را مدنظر قرار می‌دهد[1].

به‌طورکلی تعریف، واژه PHM، عبارت است از[2]:

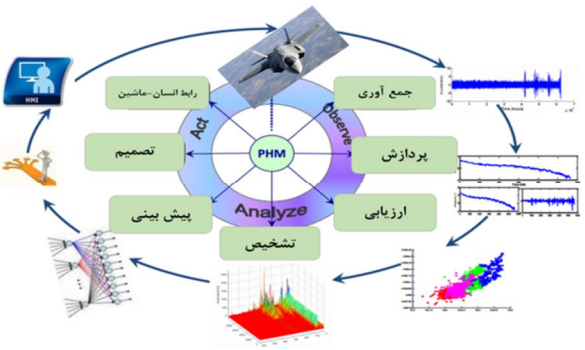
پیش‌بینی به پیشگوئی[4]،تخمین و برآورد[5] فرآیند به وسیله مدل‌سازی پیشرفت عیب براساس ارزیابی حالت فعلی و شرایط عملیاتی آتی، مربوط می‌شود.

1- Real Time
2- Prognostics And Health Management
3- Varde & Pecht
4- Prediction
5- Extrapolation

مدیریت سلامت[6] به قابلیت تصمیم‌گیری و توانائی برای ارائه هوشمندانه نگهداشت و فعالیت‌های لجستیکی بر اطلاعات اساسی و پایه‌ای پیش‌بینی و تشخیص، برمی‌گردد.

۲-۲ - مدل مفهومی چرخه PHM

برای شناخت هرچه بهتر PHM و کسب آگاهی و دانش در این زمینه، ابتدا باید مراحل و گام‌ها یا به‌عبارتی لایه‌های اجرائی PHM تشریح شده و سپس هر یک مورد بررسی قرار گیرد. به‌طور خلاصه، برای دستیابی به این مهم ابتدا یک چرخه کلی از مراحل و لایه‌های PHM در شکل (۱) بیان شده است. در واقع PHM امکان ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم را در شرایط چرخه عمر واقعی فراهم می‌کند[2].



شکل (۱): مدل مفهومی چرخه PHM

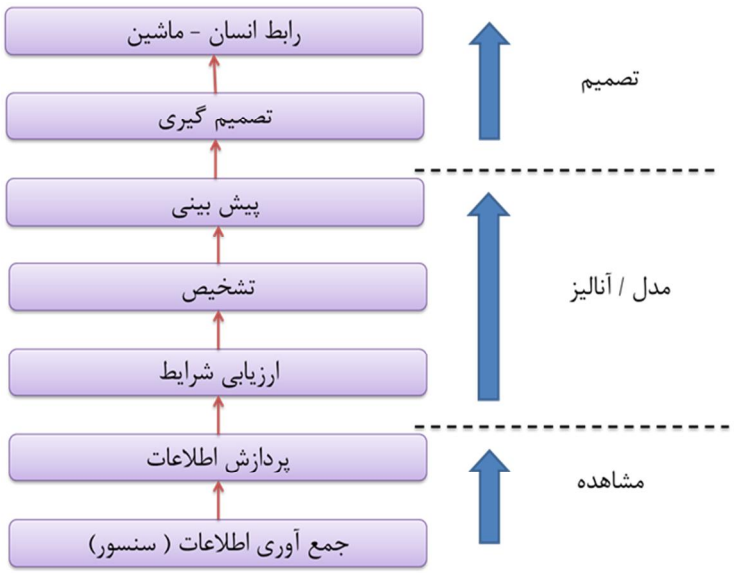
6- Health Management

در جدول (۱) هفت لایه و به‌طورکلی هر سه مرحله PHM، بیان شده و یک تعریف مختصر از هر یک ارائه گردیده است[2].

جدول (۱): چرخه PHM، شامل سه مرحله و هفت لایه

مراحل	شرح لایه‌ها
مشاهده[1]	۱. جمع‌آوری داده[2]: جمع‌آوری داده‌های پایش وضعیت مفید و کاربردی که توسط سنسورهای دیجیتالی (الکترونیکی) ثبت می‌شود. ۲. پردازش داده[3]: پاک‌سازی داده[4]، نویززدائی، انتخاب و استخراج معیارهای مربوطه
تجزیه و تحلیل[5]	۳. ارزیابی وضعیت[6]: ارزیابی وضعیت جاری ماشین‌آلات پایش‌شده و ارزیابی سطح زوال ۴. تشخیص: انجام تشخیص برای کشف، ایزوله‌سازی و شناسائی عیوب ۵. پیش‌بینی: تصویر کردن سلامت فعلی زوال ماشین‌آلات برای پیش‌بینی آینده و تخمین RUL و فاصله اطمینان مربوط به آن
اقدام[7]	۶. پشتیبانی تصمیم‌گیری[8] (آفلاین) توصیه مجموعه از فعالیت‌ها برای نگهداشت و لجستیک (مانند: کیفیت سرویس‌دهی) و (آنلاین) ساختاربندی سیستم (فعالیت‌های ایمنی). ۷. رابط انسان- ماشین[9]: تقابل لایه‌های مختلف، برای مثال، پیش‌بینی، پشتیبانی تصمیم‌گیری، نمایش هشدارها و غیره.

براساس جدول (۱)، یک نوع نحوه نمایش دیگر از سیستم PHM در شکل (۲) ارائه شده است[2].



شکل (۲): مدل مفهومی چرخه PHM

1- Observe
2- Data Acquisition
3- Data Processing
4- Data Cleaning
5- Analyze
6- Condition Assessment
7- Act
8- Decision Support
9- Human Machine Interface

۲-۳- اهداف PHM

اهداف PHM در توسعه چرخه عمر دارائی‌های مهندسی و در عین حال کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداشت سیستم‌ها لحاظ شده است. به همین دلیل پیش‌بینی به‌عنوان یک فرآیند کلیدی برای قابلیت‌های آتی، مورد توجه قرار گرفته است. در حقیقت، تخمین دقیق RUL یک تجهیز، قادر است تا برنامه آتی فعالیت‌ها را برای افزایش ایمنی، کاهش توقف، تضمین تکمیل مأموریت و تولید کارآمد، ایجاد نماید. در سیستم‌های دفاعی هدف اصلی پاسخ این سؤال است که چگونه می‌توان روشی برای تعیین توانایی استمرار آمادگی تجهیزات در مأموریت‌های نظامی در شرایط نبرد، ارائه نمود؟

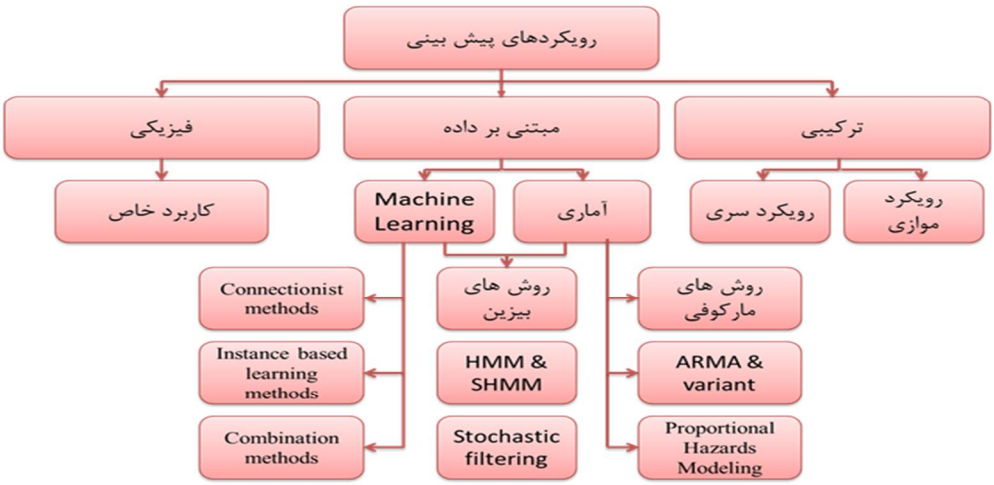
۲-۴- سؤالاتی که در حوزه PHM سیستم‌های دفاعی مطرح می‌شود

- ❖ آیا تجهیز نظامی، برای اجرای مأموریت آماده است؟
- ❖ استمرار آمادگی تجهیزات در مأموریت‌های نظامی، به چه میزان است؟
- ❖ سطح اطمینان تجهیزات آفندی و پدافندی برای اجرای مأموریت چقدر است؟
- ❖ سطح اطمینان تجهیزات آفندی و پدافندی برای مدت مأموریت چقدر است؟
- ❖ با توجه به سطح اطمینان مشخص، زمان مورد انتظار برای رفع عیب یک تجهیز نظامی حیاتی، چه میزان است؟
- ❖ چه میزان از عمر تجهیز نظامی باقی مانده است؟

۲-۵- تعاریف پیش‌بینی[1]

پیش‌بینی یک لغت مرکب است، که از دو کلمه یونانی Pro و gnosis تشکیل شده است و به معنی توانائی در کسب آگاهی در مورد اتفاقات، قبل از[2] اینکه واقعاً رخ دهد، است[2].

تشخیص و پیش‌بینی، اصالتاً از حوزه طبی و داروئی نشأت گرفته است، به طوری‌که، تکنولوژی نت ماشین‌آلات با تشخیص و پیش‌بینی ادغام و تلفیق شده و کم‌کم همه حوزه مهندسی مکانیک را فراگرفته است. لذا به منظور کاهش هزینه نت و فعال نگه‌داشتن ماشین‌آلات در بالاترین سطح ممکن، سیستم نت باید یک روش پیشگیرانه را به‌کار ببندد. بدین معنی که باید یک تغییر شکل در راهبرد نت از روش سنتی شکست - تعمیر[3](تشخیص)، به روش پیشگوئی - پیشگیری[4](پیش‌بینی) اعمال شود. پیشنگری (تخمین) به مدت ۱۰ سال است که در حوزه نت استفاده می‌شود، درحالی‌که، اکثر این کاربردها، فقط رسیدن به پیشگوئی یا پیش‌بینی عمر مفید باقیمانده[5](RUL) است.



شکل (۳): دسته‌بندی بخشی از رویکردهای پیش‌بینی

1- Prognosis
2- Pro
3- Fail-And-Fix
4- Predict-And-Prevent
5- Remaining Useful Life

۳- رویکردهای سیستم PHM

۳-۱- انواع رویکرد در PHM

رویکردهای پیش‌بینی کنونی را می‌توان در سه دسته، طبقه‌بندی کرد. رویکردهای مبتنی بر مدل فیزیکی([7][6][5][4][3]) رویکردهای داده محور ([10][9][8])، رویکردهای ترکیبی([13][12][11]).

یک رویکرد مبتنی بر مدل، شامل داده‌های تولید شده از مدل‌های شبیه‌سازی شده تحت شرایط شناخته شده تخریبی، می‌باشد[6].

در ادامه، برای روشن‌تر شدن انواع روش‌های پیش‌بینی، یک نوع دسته‌بندی ساختارمند، برای روش‌های پیش‌بینی ارائه شده است[2].

۳-۲- رویکردهای داده محور

با پیشرفت سیستم‌های سنسور مدرن و همچنین پیشرفت ذخیره و پردازش داده، رویکردهای داده محور برای ارزیابی سلامت سیستم که اساساً مبتنی بر داده‌های عظیم سنسورها می‌باشند و کمترین نیاز را به شناخت مکانیزم‌های شکست ذاتی سیستم دارد، به‌طور وسیع مورد استفاده قرار گرفته و مشهور شده است[14].

رویکردهای داده محور، از اطلاعات حاصله از داده‌های مشاهده شده، برای شناسائی خصوصیات فرآیند شکست و پیش‌بینی حالت آتی، بدون به‌کارگیری هیچ مدل فیزیکی، استفاده می‌کند. به‌جای مدل‌های ریاضی، عوامل ارزشی (مثل RUL) از طریق داده‌های آموزشی که تحت شرایط کاری متنوع به‌دست آمده است، تعیین می‌شود.

۳-۳- رویکرد مبتنی بر فیزیک شکست[1](POF)

فیزیک شکست، رویکردی است که از دانش بارگیری چرخه عمر محصول و مکانیزم‌های شکست، برای ارزیابی قابلیت اطمینان محصول، بهره می‌گیرد. روش POF مبتنی بر شناسائی مکانیزم‌های شکست بالقوه و محل‌های شکست، برای یک دستگاه، محصول یا سیستم می‌باشد. مکانیزم‌های شکست توسط رابطه بین تنش‌ها و متغییرهای موجود در محل‌های شکست بالقوه، توصیف می‌شود[15].

پیش‌بینی مبتنی بر مدل POF، اجازه ارزیابی و پیشگوئی قابلیت اطمینان سیستم را در شرایط کاربرد واقعی آن ارائه می‌دهد. این رویکرد، داده‌های سنسور را با مدل‌ها یکپارچه کرده و قادر است در جا، انحرافات یا زوال یک محصول را از شرایط عملیاتی نرمال انتظاری آن، شناسائی نماید. رویکرد مبتنی بر مدل، زمانی مورد استفاده خواهد بود که خصوصیات مواد و ساختار هندسی محصول در دسترس باشد[15].

۳-۴- رویکردهای ترکیبی[2]

رویکردهای ترکیبی، به دنبال یکپارچه‌سازی رویکردهای پیش‌بینی مبتنی بر فیزیک شکست و رویکردهای داده محور است و در تلاش است تا از مزایا و قدرت هر دو رویکرد استفاده نماید. ایده اصلی در رویکردهای ترکیبی استفاده از خواص و مزایای هر دو روش، برای به‌دست آوردن مدل‌های پیش‌بینی ترکیبی مناسب برای مدیریت هرچه بهتر عدم قطعیت و دستیابی به تخمین دقیق‌تری از RUL می‌باشد.

رویکردهای ترکیبی را به‌طورکلی می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی نمود:

- رویکردهای سری
- رویکردهای موازی

۴- مطالعه موردی در سامانه‌های دفاعی

۴-۱- ارائه یک سیستم پیش‌بینی و مدیریت سلامت(PHM) برای رادار AEW (هشدار سریع هوابرد) مبتنی بر الگوریتم‌های پیش‌بینی AOPS-LSSVM و پایگاه داده دانش خبره

در این مقاله، به منظور بهبود توانائی و کارائی پیش‌بینی و تشخیص عیوب رادار معین AEW[3] (هشدار سریع هوابرد)، یک الگوریتم پیش‌بینی عیوب AOPS-[4] LSSVM[5] و یک الگوریتم منطق فازی ارائه شده است، همچنین یک پایگاه داده از دانش خبره نیز ساخته شده است. براساس الگوریتم پیش‌بینی عیوب AOPS-[6] LSSVM[7] و الگوریتم منطق فازی و همچنین پایگاه داده از دانش خبره، سیستم PHM برای رادار AEW به‌کار

1- Physics-Of-Failure-Based Approach

2- A Hybrid (Hyb) Approach
3- Airborne Early Warning
4- Adaptive Particle Swarm Optimization
5- Least Squares Support Vector Machine
6- Adaptive Particle Swarm Optimization
7- Least Squares Support Vector Machine

گرفته شده است. آزمایش انجام شده نشان می‌دهد که به‌علت استفاده از الگوریتم APSO برای تنظیم کردن عوامل مدل LSSVM، الگوریتم APSO-LSSVM توانائی بهتری برای پیش‌بینی عیوب دارد. الگوریتم ادغامی APSO-LSSVM همراه با پایگاه داده‌ای از دانش خبره با منطق فازی نه‌تنها می‌تواند توانائی پایش وضعیت سلامت سیستم را افزایش دهد، بلکه می‌تواند کارائی تشخیص عیوب و نگهداشت را برای رادار AEW افزایش دهد. بنابراین، سیستم PHM می‌تواند یک نقش بیسار مهم و حیاتی را در پشتیبانی لجستیک رادار AEW داشته باشد.

از یک سو، با افزایش مداوم پیچیدگی سیستم تجهیزات بزرگ، آزمایش عملکرد، تشخیص عیب و پشتیبانی نگهداشت آنها جذاب‌تر شده و بیش از پیش مورد توجه قرار می‌گیرد، به‌عبارت دیگر، PHM با استفاده از داده‌های متنوعی که توسط سنسورها جمع‌آوری شده و با کمک الگوریتم‌های استدلالی مفهومی[1] (مانند، مدل‌های فیزیکی، شبکه عصبی، داده فیوز، منطق فازی و سیستم خبره) به ارزیابی وضعیت سلامت سیستم می‌پردازد.

سیستم PHM می‌تواند عیب سیستم را قبل از اینکه رخ دهد پیش‌بینی نماید. با ترکیب منابع متنوع و در دسترس، سیستم PHM می‌تواند یک سری اقدامات نگهداشت را برای واقعی کردن نگهداری تعمیرات مبتنی بر شرایط برای سیستم تجهیز ارائه دهد تا در نهایت از رخداد اتفاقات مهلک اجتناب شود.

با توجه به خاصیت و ویژگی منحصربه‌فرد سیستم PHM، این سیستم به‌طور وسیع در هوانوردی و فضانوردی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طور مثال، سیستم پایش کارکرد و سلامت[2] قبلاً در بسیاری از بالگردها نصب شده است. مدیریت یکپارچه وسیله نقلیه[3]، برای وسایل نقلیه در فضا، نظیر شاتل فضایی و حمل‌کننده راکت مورد استفاده قرار گرفت. همچنین سیستم PHM برای وسایل نقلیه هوانوردی مانند جنگنده‌ها و دستگاه‌های الکترونیکی مورد استفاده قرار گرفته است[1].

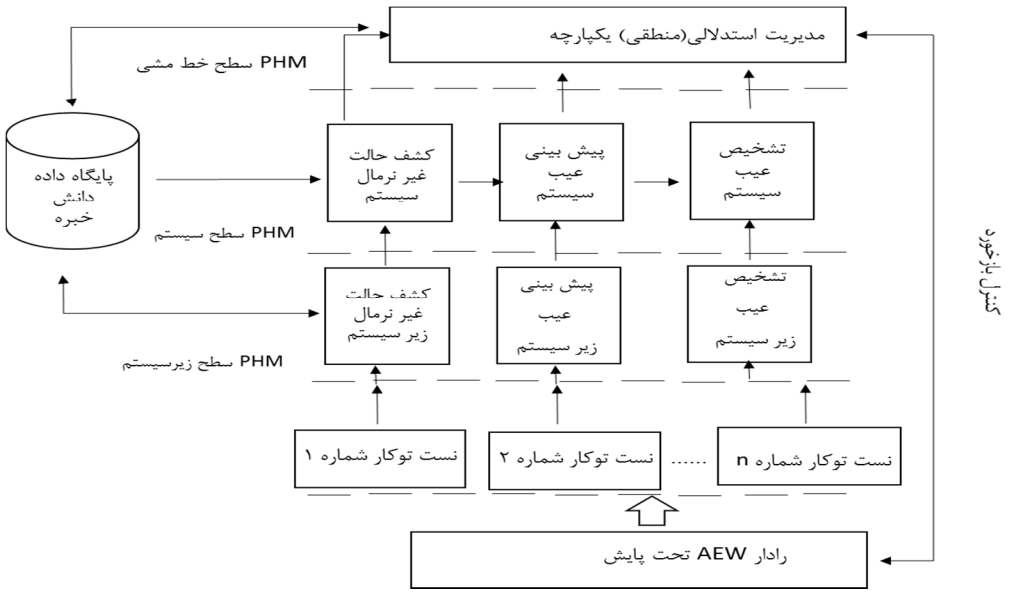
رادار AEW، یک وسیله مهم برای کسب دانش و هوشمندی هوائی است. به‌عبارت دیگر، برای تقویت توانائی تشخیص عیب و سطح پشتیبانی نگهداشت برای رادار AEW و واقعی نمودن نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط، در این مقاله از الگوریتم پیش‌بینی عیب APSO-LSSVM و الگوریتم منطق فازی استفاده شده است و یک پایگاه داده از دانش خبره برای رادار AEW ایجاد و براساس این یک سیستم PHM خاص رادار AEW تشکیل شده است. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که به‌علت استفاده از الگوریتم APSO برای تنظیم کردن عوامل متغیر مدل LSSVM، الگوریتم APSO-LSSVM توانائی بهتری برای پیش‌بینی عیوب دارد. الگوریتم ادغامی APSO-LSSVM همراه با پایگاه داده‌ای از دانش خبره با منطق فازی نه‌تنها می‌تواند توانائی پایش وضعیت سلامت سیستم را افزایش دهد، بلکه می‌تواند کارایی تشخیص عیوب و نگهداشت را برای رادار AEW افزایش دهد. بنابراین، سیستم PHM می‌تواند یک نقش بسیار مهم و حیاتی را در پشتیبانی لجستیک رادار AEW داشته باشد.

۴-۱-۱- طراحی یک سیستم PHM برای رادار AEW

الف) چارجوب سیستم PHM

با توجه به موضوعات قابلیت اطمینان و ایمنی، افزودن وسایل اضافی[4] مانند، سنسورها و غیره در رادار AEW مناسب نمی‌باشد. در این مقاله، براساس اطلاعات موجود در آزمایش توکار[5] رادارهای AEW، یک سیستم PHM ساخته شده است. دیاگرام ساختار سیستم PHM در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به سیستم رادار AEW و زیرسیستم‌های آن، این سیستم PHM به‌صورت سلسله مراتبی طراحی شده و سه موضوع بحرانی، کشف ناهنجاری[6]، تشخیص عیب[7] و پیش‌بینی عیب[8] را پشتیبانی نگهداشت رادار AEW بر شمرده است.

1- Intelligence Reasoning Algorithm
2- Health and Usage Monitoring System
3- the Integrated Vehicle Health Management (IVHM)
4- Additional Devices
5- Built-In Test (BIT)
6- Abnormal Detection
7- Diagnosis Fault
8- Fault Prognostic



شکل (۴): نمودار ساختار سیستم PHM برای رادار AEW

۱-سلسله مراتب سیستم PHM

سیستم PHM در سه سلسله و سطح یکپارچه تحقق می‌یابد. PHM سطح زیرسیستم[1]، PHM سطح سیستم[2]، PHM سطح خطمش، سه سطح لحاظ شده می‌باشد که عملکرد هر یک در زیر تشریح شده است.

الف) PHM سطح خطمش

با استفاده از نتایج حاصله از کشف حالت غیرنرمال، پیش‌بینی عیب و تشخیص عیب سطح سیستم و با استفاده از ابزارهای دانش خبره و الگوریتم منطق فازی، وضعیت سلامت سیستم و تغییر روند آن تأیید شده و به قسمت سیستم پشتیبانی نگهداشت ابلاغ می‌شود. زمانی که عیبی وجود دارد، از منابع و افزونگی شکست استفاده می‌شود، PHM سطح خطمش، می‌تواند به وسیله کنترل بازخورد[3] برای اطمینان از کارکرد رادار AEW در حالت عملکرد پایه، و نرخ زوال سیستم کاهش یابد.

ب) PHM سطح سیستم

ترکیب کردن اطلاعات وضعیت سلامت زیرسیستم‌ها، نظیر آنتن[4]، فرستنده[5]، گیرنده[6]، پردازشگر سیگنال[7]، ترمینال استخراج هدف[8]، از طریق الگوریتم منطق فازی و پایگاه داده خبره، PHM سطح زیرسیستم می‌تواند وضعیت سلامت رادار AEW را تأیید نماید.

ج) PHM سطح زیرسیستم

براساس داده آزمایش توکار خودرادار AEW و به وسیله الگوریتم APSO-LSSVM و الگوریتم منطق فازی، PHM سطح زیرسیستم می‌تواند کشف حالت غیرنرمال، تشخیص عیب را برای زیرسیستم‌های رادار AEW، نظیر آنتن، فرستنده، گیرنده، پردازشگر سیگنال و ترمینال استخراج هدف و غیره انجام دهد، همچنین می‌تواند پیش‌بینی عیب را برای برخی از زیرسیستم‌ها به‌دست آورد.

۲- ساختار اصلی سیستم PHM

ترکیب و مدیریت منطقی سه ماژول شامل ماژول کشف حالت غیرنرمال، ماژول تشخیص عیب و ماژول پیش‌بینی عیب، ساختار اصلی سیستم PHM را تشکیل می‌دهد.

1- Subsystem Level PHM
2- PHM the System Level
3- Feedback
4- Antenna
5- Transmitter
6- Receiver
7- Processing Signal
8- Target Extraction Terminal

الف) ماژول کشف حالت غیر نرمال

روش کشف حالت غیرنرمال زیرسیستم‌ها از طریق مقایسه آستانه است و روش کشف حالت غیرنرمال در سیستم، از طریق الگوریتم منطق فازی است. ماژول کشف غیرنرمال، می‌تواند رفتار غیرنرمال و غیرعادی رادار AEW را کشف نماید.

ب) ماژول پیش بینی عیب

از طریق الگوریتم APSO-LSSVM، ماژول پیش‌بینی عیب می‌تواند پیش‌بینی عیب را برای برخی اجزای بحرانی انجام دهد و نگهداری و تعمیرات مبتنی بر شرایط را برای رادار AEW تحقق بخشد.

ج) ماژول تشخیص عیب

براساس نتایج حاصله از کشف حالت غیرنرمال و تشخیص عیب و با استفاده از الگوریتم منطق فازی و پایگاه داده دانش خبره، ماژول تشخیص عیب می‌تواند تشخیص و ایزوله‌سازی عیب را برای پشتیبانی نگهداشت رادارAEW انجام دهد.

د) مدیریت منطقی و ترکیب سازی[1]

براساس اطلاعات ورودی از ماژول کشف حالت غیرنرمال، ماژول پیش‌بینی عیب و ماژول تشخیص عیب و با به‌کار بردن الگوریتم منطق فازی و پایگاه داده دانش خبره، مدیریت منطقی و ترکیب‌سازی سرانجام می‌تواند وضعیت سلامت و توالی رخداد عیب[2] را در رادار AEW تأیید نموده و همچنین می‌تواند روش‌ها و اقدامات نگهداشت متناظر با وضعیت را توصیه نماید. در همین زمان، ازآنجایی‌که اطلاعات وضعیت سلامت رادار می‌تواند بخش پشتیبانی نگهداشت رادار را راهنمائی نماید، مدیریت منطقی و ترکیب‌سازی، اطلاعات وضعیت سلامت رادار AEW، را به بخش پشتیبانی نگهداشت خواهد داد. سپس به علت محدودیت فضا، از آوردن الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان حداقل مربعات[3] - بهینه‌سازی گروه ذره انطباقی[4] اجتناب شده است. در این الگوریتم تلفیقی، از بهینه‌سازی گروه ذره انطباقی برای آماده‌کردن متغیرهای الگوریتم‌های بردار ماشین پشتیبان حداقل مربعات استفاده شده است[1].

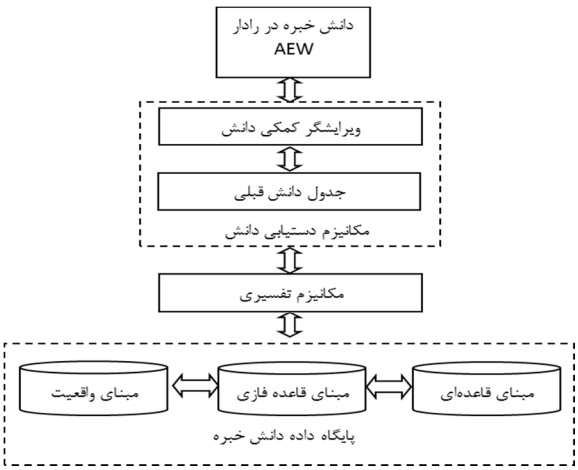
۳- پایگاه داده دانش خبره

قالب کاری پایگاه داده دانش خبره رادارAEW در شکل (۲) نشان داده شده است. مطابق با شکل (۵)، دانش خبره به وسیله ویرایشگر کمکی دانش و جدول دانش قبلی که مکانیزم دستیابی دانش هستند، به جدول دانش تألیفی تبدیل می‌شود، سپس جدول دانش تألیفی، به قسمت مکانیزم مفهومی فرستاده خواهد شد. مکانیزم مفهمومی، سه ساختار داده دانش خبره را مبتنی بر واقعیت[5]، مبتنی بر قاعده[6]، مبتنی بر نگاشت[7] تولید خواهد نمود.

مبتنی بر واقعیت، از یک قالب کاری سلسله مراتبی و یک زبان تشریحی ساخته شده است. این نوع از ساختار داده، نه‌تنها مفهوم فیزیکی خلاصه‌ای را بیان می‌کند، بلکه بیانی مبتنی بر واقعیت را هم لحاظ می‌کند.

مبتنی بر قاعده فازی، از قاعده تولید فازی برای بیان دانش به عنوان دو قسمت: شرایط و نتیجه‌گیری، استفاده می‌کند و در الگوریتم استدلالی فازی پیاده‌سازی شده است.

مبتنی بر نگاشت، از مجموعه نگاشت برای بیان چگونگی پیشنهاد قاعده و عملیات‌های واقعی استفاده می‌شود.



شکل (۵): قالی‌کاری برای پایگاه دانش خبره برای رادار AEW

1- Synthesizing and Reasoning Manager
2- The Fault Happening Sequence
3- Least Squares Support Vector Machine
4- Adaptive Particle Swarm Optimization

5- Fact-Base
6- Rule-Base
7- Map-Base

در ادامه، به علت محدودیت فضا، از آوردن قاعده نگاشت و مجموعه نگاشت و همچنین الگوریتم استدلال فازی، صرف نظر شده است و در ادامه، نحوه تنظیم عوامل متغیر رادارAEW و نتایج پیش‌بینی آورده شده است.

۴-۱-۲- تنظیم پارامتر رادار AEW

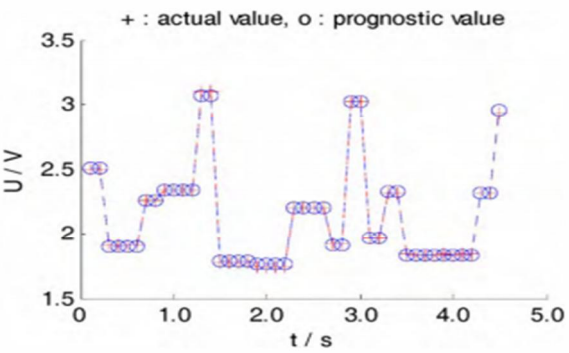
۲۵۰ عامل نظارت در رادار AEW وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به عوامل قدرت خروجی، فرکانس عامل، فرکانس تکرار پالس، عرض، دامنه و فاز و غیره در زیرسیستم فرستنده، اشاره نمود. جریان ادغام‌کننده کریستال[1]، حساسیت، فرکانس متوسط، پالس تصویری و مدار تشخیص فعلی و سایر موارد در زیرسیستم گیرنده وجود دارند. نسبت تراکم پالس، تعداد FFT و غیره در زیرسیستم پردازش سیگنال هستند و دامنه پرتو، فاز و ولتاژ برق و سایر موارد در زیرسیستم کنترل و تشکیل پرتو فشار، ظرفیت جریان و درجه حرارت و غیره در زیرسیستم خنک‌کننده قرار دارند.

۴-۱-۳- نتایج پیش‌بینی خطای APSO-LSSVM

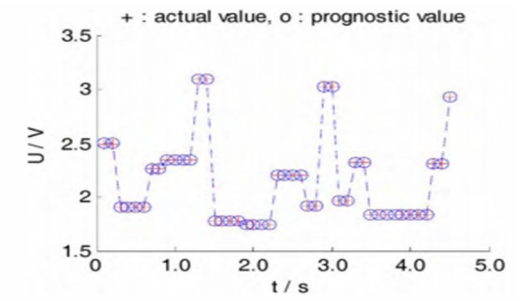
الگوریتم APSO-LSSVM برای نشان دادن ۱۲ عامل مهم رادار AEW ، مانند قدرت خروجی، فرکانس عامل و انتقال پالس و غیره استفاده می شود. نتیجه پیش‌بینی ولتاژ برای لوله سوئیچ[2] فرستنده رادار در شکل (۸) نشان داده شده است.

برای داده ولتاژ خروجی از همان لوله سوئیچ عادی، نتیجه پیشگوئی با الگوریتم LSSVM در شکل (۶) نشان داده شده است و MSE (میانگین مربع خطا) بین ارزش پیش‌بینی و ارزش واقعی آن ۰.۰۱۰۴ است. نتیجه پیش آگهی با الگوریتم APSO-LSSVM در شکل (۷) نشان داده شده است و مقدار MSE، ۰.۰۰۱۹ است. از شکل (۶) و (۷) و دو مقدار MSE، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم APSO-LSSVM نسبت به الگوریتم LSSVM دقت پیش‌بینی بیشتری دارد. به همین دلیل است که الگوریتم APSO-LSSVM برای پیش‌بینی خطا لوله سوئیچ مناسب‌تر است.

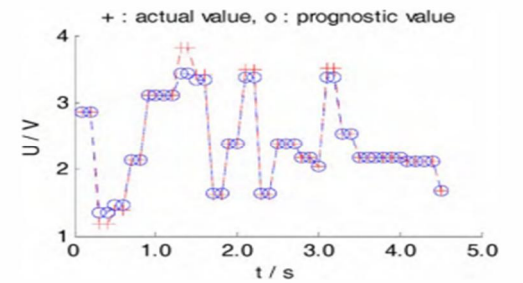
شکل (۸) نتایج پیش آگهی خطا از داده ولتاژ خروجی را برای یک لوله سوئیچ MSE ، ۰.۰۹۶۹ در نظر می‌گیرد. با مقایسه شکل (۷) و شکل (۸)، نتایج پیش‌بینی خطا، به‌طور بدیهی از مقدار ولتاژ نرمال انحراف داشته و مقدار MSE بیش از حد افزایش می‌یابد. بنابراین، الگوریتم APSO-LSSVM می‌تواند خطای عامل ولتاژ لوله سوئیچ را به‌طور مؤثر پیش‌بینی کند. همچنین برای عوامل متغیر دیگر، این الگوریتم دارای یک عملکرد عالی می‌باشد.



شکل (۶): نتیجه پیش‌بینی الگوریتم LSSVM



شکل (۷): نتیجه پیش‌بینی الگوریتم APSO-LSSVM



شکل (۸): نتیجه پیش‌بینی ولتاژ خروجی با APSO-LSSYM برای لوله سوئیچ خطا

1- Mixer Crystal Current
2- Switch Tube

آزمایشات نشان می‌دهد که:

۱- الگوریتم APSO-LSSVM دارای پیش‌بینی دقیق‌تر نسبت به LSSVM است و این می‌تواند خطای عامل مهم رادار AEW را به‌طور مؤثر پیش‌بینی نماید.

۲- الگوریتم استدلال فازی براساس دانش خبره و درخت خطا می‌تواند موقعیت خطا را برای رادار AEW به‌طور مؤثر مکان‌یابی کند.

۳- بر اساس الگوریتم پیش‌بینی خطا APSO-LSSVM، پایگاه داده دانش خبره الگوریتم استدلال فازی، سیستم PHM نه فقط می‌تواند به‌طور مؤثر شرایط سلامت رادار AEW را نشان دهد، بلکه همچنین دارای یک توانایی قوی برای پیش‌بینی مکان خطا نیز می‌باشد. بنابراین، این برای پشتیبانی لجستیک رادار AEW بسیار مفید است. با این حال، نقطه ضعف این است که PHM تا حد زیادی به صحت دانش خبره در جنبه دقت استدلال فازی وابسته می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

به‌دلیل لزوم استمرار آمادگی تجهیزات نظامی در عملیات‌های مختلف به خصوص هنگامی‌که با محدودیت منابع و تجهیزات مواجه هستیم، استفاده از رویکردهای پایش سلامت به‌منظور پیش‌بینی عمر مفید تجهیزات نظامی و انجام فعالیت‌های پیشگیرانه مورد نیاز قبل از ایجاد شکست در این تجهیزات بسیار مهم به نظر می‌رسد. بنابراین نیاز به یک رویکرد پیشگیرانه، کاملاً ضروری است. این مقاله به دنبال ارائه رویکردی برای تعیین عمر باقیمانده اجزا تجهیز به‌منظور افزایش قابلیت به‌کارگیری و استمرار استفاده از تجهیزات در عملیات محوله می‌باشد. بدین منظور هفت مرحله موجود در پایش سلامت تجهیزات ارائه شده است. همچنین رویکردهای این حوزه یعنی رویکردهای داده محور، رویکرد مبتنی بر فیزیک شکست و رویکردهای ترکیبی به تفصیل ارائه شده است که براساس شرایط می‌تواند یکی از این رویکردها انتخاب شده و همچنین نقش بسیار مهمی را در پیش‌بینی عمر تجهیز و در نتیجه افزایش عمر آن داشته باشد. در نهایت یک مطالعه موردی در سامانه‌های دفاعی ارائه گردیده است که با ایجاد این رویکردها در آن می‌توان استمرار آمادگی تجهیزات نظامی را به میزان قابل توجهی افزایش داد.

منابع

[1] رمضانی، سعید و یوسفی، مصطفی. "رویکردی هوشمند در تشخیص و پیش بینی عیوب و مدیریت سلامت (PHM)، مطالعه موردی تشخیص عیوب مخزن با استفاده از شبکه عصبی موجک". پنجمین کنفرانس بین‌المللی نگهداری و تعمیرات، آبان ۱۳۸۷.

[2] رمضانی، سعید، یوسفی، مصطفی و طاهری، محسن. ***"تشخیص و پیش‌بینی هوشمند عیوب برای سیستم‌های مهندسی"***. تهران، انتشارات دانشگاه جامع امام حسین (ع)، ۱۳۹۰.

[3] Cadini, F., et al., ***"Model-based Monte Carlo state estimation for condition-based component replacement"***. Reliability Engineering & System Safety 94(3): 752-758, 2009.

[4] Gebraeel, N., et al., ***"Residual life predictions in the absence of prior degradation knowledge"***. Reliability, IEEE Transactions on 58(1): 106-117, 2009.

[5] Gebraeel, N. and J. Pan., ***"Prognostic degradation models for computing and updating residual life distributions in a time-varying environment"***. Reliability, IEEE Transactions on 57(4): 550-539, 2008.

[6] Luo, J., et al ,"***Model-based prognostic techniques applied to a suspension system"***. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on 38(5): 1156-1168, 2008.

[7] Myötyri, E., et al., ***"Application of stochastic filtering for lifetime prediction"***. Reliability Engineering & System Safety 91(2): 200-208, 2006.

[8] Heimes, F. O. ., ***"Recurrent neural networks for remaining useful life estimation"***. Prognostics and Health Management, 2008. PHM 2008. International Conference on, IEEE, 2008.

[9] Kozlowski, J. D., et al., ***"Electrochemical cell diagnostics using online impedance measurement, state estimation and data fusion techniques"*** . INTERSOCIETY ENERGY CONVERSION ENGINEERING CONFERENCE, SAE; 1999, 2001.

[10] Zio, E. and F. Di Maio ., ***"A data-driven fuzzy approach for predicting the remaining useful life in dynamic failure scenarios of a nuclear system"***. Reliability Engineering & System Safety **95**(1): 49-57, 2010.

[11] Goebel, K., et al., ***"Fusing competing***

prediction algorithms for prognostics". Aerospace Conference, 2006 IEEE, IEEE, 2006.

[12] Hess, A., et al., ***"PHM a key enabler for the JSF autonomic logistics support concept"***. Aerospace Conference, 2004. Proceedings. 2004 IEEE, IEE, 2004.

[13]Saha, B., et al., ***"Prognostics methods for battery health monitoring using a Bayesian framework"***. Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on **58**(2): 291-296, 2009.

[14] Hu, C., ***"Advances in system reliability-based design and prognostics and health management (PHM) for system resilience analysis and design***", 2011.

[15] Varde, P .and M. G. Pecht., ***"Role of Prognostics in Support of Integrated Risk-based Engineering in Nuclear Power Plant Safety"***. International Journal of Prognostics and Health Management, 2012.