طراحی مدلی برای سنجش آمادگی تجهیزات نظامی، با رویکرد سلسله مراتبی

سعید رمضانی[1*]، محسن طاهری[2]، مصطفی یوسفی[3] **مجید نوجوان[4]**

مرکز مطالعات و پژوهشهای لجستیکی دانشگاه جامع امام حسین (ع) دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۴/۲۸

چکیده

سنجش میزان آمادگی عملیاتی سازمان‌ها برای اجرای مأموریت‌های محوله، یکی از شاخص‌های کلیدی در تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی به‌خصوص در سازمان‌های نظامی می‌باشد. میزان آمادگی می‌تواند معیاری برای تخصیص بودجه، خرید تجهیزات و اقلام پشتیبانی و همچنین انجام اقدامات سیاسی یا نظامی در زمان صلح یا جنگ باشد. آمادگی تجهیزات یکی از مولفه‌های اساسی در آمادگی عملیاتی سازمان‌ها است که هدف اصلی سیستم نگهداری و تعمیرات (نت) و فلسفه وجودی آن در فرآیند پشتیبانی سازمان‌ها می‌باشد. از این رو ارائه مدلی جهت سنجش میزان آمادگی تجهیزات در سیستم نت، اهمیتی مضاعف می‌یابد.

در این مقاله که حاصل پژوهشی علمی است، ابتدا تعریف آمادگی تجهیزات و مدل‌های موجود در ادبیات علمی مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس مدل طراحی شده با توجه به نیازهای سازمان و تحقیقات انجام شده، در قالب یک سیستم تشریح می‌گردد. سنجش آمادگی در این سیستم به‌صورت تجمیع سلسله مراتبی، مبتنی بر ارزیابی سیستم‌ها و زیرسیستم‌های تجهیز با توجه به وزن و اهمیت هر کدام در ماموریت می‌باشد. در ادامه، با توجه به نظرات خبرگان در زمینه عمر، قابلیت پشتیبانی و جایگزینی و کیفیت تعمیرات، یک سیستم خبره فازی برای سنجش آمادگی تجهیزات ارائه شده است. همچنین در این پژوهش با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی، مدلی برای پیش‌بینی آمادگی تجهیزات با توجه به شاخص‌های محیطی و کارکردی طراحی و ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات، سنجش آمادگی تجهیزات، دسترس‌پذیری، سیستم خبره فازی، شبکه‌های عصبی.

۱- مقدمه

تعیین میزان آمادگی تجهیزات یکی از عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری مدیران و فرماندهان می‌باشد. معیارها و روش‌های مناسبی برای تعیین میزان آمادگی تجهیزاتی که در حال تولید یا عملیات هستند، وجود دارد. اما در واحدهایی که در حال آماده باش می‌باشند به خصوص در واحدهای نظامی که تجهیزات خود را برای زمان ماموریت آماده نگه می‌دارند، این روش‌ها کارایی ندارد. به همین دلیل سیستمی به‌صورت سلسله مراتبی، مبتنی بر ارزیابی سیستم‌ها و زیرسیستم‌های تجهیزات طراحی گردید تا علاوه بر ارزیابی تک تک زیرسیستم‌ها با توجه به وزن و اهمیت هر کدام در نوع ماموریت تعریف شده، بتوان نتایج کلی سنجش آمادگی تجهیزات را نیز در قالب گزارش‌های اخذ شده از نرم‌افزار مربوطه ارائه نمود.

سازمان‌ها به دنبال افزایش قابلیت اطمینان و در دسترس بودن تجهیزات خود هستند. هدف اصلی به حداکثر رساندن زمان کارکرد بدون خطا و به حداقل رساندن هزینه‌های نگهداری، تعمیرات و عملیات است. آمادگی برای افراد مختلف معانی متفاوت دارد و طیف وسیعی از مفاهیم استراتژیک تا حوزه‌های تاکتیکی را در بر می‌گیرد. آمادگی تاکتیکی به عواملی چون پرسنل، آموزش، تجهیزات و پشتیبانی بستگی دارد. با این رویکرد، میزان آمادگی، وضعیت یک واحد را در انجام مأموریتی که برای آن سازماندهی یا طراحی شده است، نشان می‌دهد.

این واحد می‌تواند یک بخش از کارخانه یا مرکز صنعتی یا یک واحد نظامی یا بخشی از یک عملیات عمرانی یا ترکیبی از آنها باشد.

۱*- کارشناسی‌ارشد مهندسی‌صنایع، پژوهشگر مرکز مطالعات و پژوهشهای لجستیکی نویسنده پاسخگو، پست الکترونیکی: Ramezani.sr@gmail.com، نشانی: تهران، شهرک قدس، خیابان هرمزان، خیابان پیروزان جنوبی، نبش خیابان پنجم

۲- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، مدیرکمیته نت مرکز مطالعات و پژوهشهای لجستیکی، پست الکترونیکی: taheri.mohsen@yahoo.com

۳- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، پست الکترونیکی: tezerjan@yahoo.com

۴- دکترای مهندسی صنایع، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، پست الکترونیکی: abshmo2000@yahoo.com

سیستم سنجش آمادگی باید به گونه‌ای باشد که بتواند سه اصل آمادگی یعنی سرعت، استعداد و بازدهی را اندازه گرفته و اهداف زیر را مورد توجه قرار دهد:

۱. واکنش به موضوعات ارائه شده از جانب مدیران ارشد در حوزه آمادگی تجهیزات.

۲. تجدید نظر در گزارش‌های مربوط به تغییر شرایط آمادگی به‌صورت به‌هنگام[1].

۳. ارائه اطلاعات مناسب از میزان آمادگی تجهیزات، قبل، بعد و در حین انجام ماموریت.

۴. کمک به تصمیم‌گیری مدیران ارشد در مواجهه با مشکلات پیش آمده یا چالش‌های پیش رو.

برای مشخص شدن علل پایین بودن آمادگی و ارائه راهکارهای مناسب جهت افزایش آن، کارشناسان ارزیابی آمادگی، اطلاعاتی مبنی بر علل پایین بودن آمادگی بخش خود را نیز در نرم افزار ثبت می‌کنند و مدیران ارشد سازمان به‌عنوان تصمیم‌گیرندگان اصلی، وظیفه ارائه راهکارهای افزایش میزان آمادگی را برعهده دارند. سیستم ارزیابی آمادگی، میزان آمادگی و دانش کارشناسان در زمینه علل پایین بودن آمادگی را مدیریت کرده و برای تصمیم‌گیری به مدیران ارائه می‌نماید.

۲- مرور ادبیات

در سال‌های اخیر تعدادی از منابع نظامی دنیا و مشاورانشان، کتاب‌ها و مقاله‌های محدودی در زمینه محاسبه آمادگی ارائه نموده‌اند [۳و۴]. در کتاب "تشخیص میزان آمادگی تجهیزات نظامی" به روش "آنالیز زمان شکست تجهیزات" (EDA)[2] اشاره شده و مفاهیم و تکنیک‌های محاسبه آمادگی به اختصار تشریح گردیده است[۵]. از طرف دیگر کاربردهای سیستم‌های خبره فازی برای محققان کاملا مشخص شده و مقالات متعددی در این زمینه ارائه شده است[۶]. متناسب با ماهیت زیرسیستم‌ها می‌توان از روش‌های مختلفی برای ارزیابی آمادگی و پیش‌بینی خرابی استفاده کرد که چارچوب‌هایی برای آن در [۱] و [۷و۸] معرفی شده است.

۲-۱- دسترس پذیری[3]

دسترس‌پذیری تابعی از میزان خرابی‌های سیستم (تابعی از قابلیت اطمینان) و مدت زمان لازم برای بازیابی و تعمیر سیستم و رساندن آن به شرایط عملیاتی بعد از خرابی (تابعی از نگهداری و پشتیبانی) می‌باشد. در سیستم‌هایی که امکان نگهداری آنها وجود ندارد، دسترس‌پذیری معادل قابلیت اطمینان از سیستم است. قابلیت اطمینان را می‌توان احتمال انجام بدون خرابی وظایف توسط یک سیستم در موقع استفاده از آن، تحت شرایط معین، در یک بازه زمانی مشخص تعریف کرد. قابلیت اطمینان غالباً برحسب متوسط زمان بین خرابی‌ها[4] (MTBF) و قابلیت نگهداری برحسب متوسط زمان تعمیر[5] (MTTR) بیان می‌شود.

عامل دیگر دسترس‌پذیری، قابلیت نگهداری است. قابلیت نگهداری غالباً به عنوان معیار توانایی تعمیر در شرایط مشخص، توسط پرسنل متخصص و با روش‌هایی از پیش تعیین شده در هر سطح از نت تعریف می‌شود. در اینجا قابلیت نگهداری با توجه به سادگی نسبی و صرفه اقتصادی، جلوگیری از خرابی (حفظ تجهیز در شرایط معین) یا اصلاح خرابی‌ها (تعمیر تجهیز و رساندن آن به شرایط معین) از طریق نگهداری است. بنابراین، قابلیت نگهداری خوب در واقع توان فعال نگه‌داشتن آن با روش‌ها و امکانات از پیش تعیین شده نیست بلکه توان انجام این کار به‌صورت مقرون به صرفه و کارآمد می‌باشد. فرمول کلی دسترس‌پذیری در زیر آمده است که در آن X زمان آماده به کار، متوسط زمان توقف[6] (MDT) و میانگین زمان بین اجرای فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات[7] (MTBM) (هم پیشگیرانه و هم تعمیراتی)، می‌باشد[۴].

$$A_0 = \frac{MTBM + X}{MTBM + MDT + X}$$

$$MTBM = 1/\left(1/MTBP^{8} + 1/MTBF\right) \qquad (1)$$

$$MDT = \text{Mean Wait Time} + MTTR$$

تفسیر و اندازه‌گیری دسترس‌پذیری عملیاتی در سیستم‌های مختلف متفاوت است و به چگونگی استفاده و راه‌اندازی آنها بستگی دارد. برای محاسبه دسترس‌پذیری را می‌توان سیستم‌ها را به‌صورت زیر دسته‌بندی نمود:

1 - Online
2-Equipment Downtime Analysis (EDA)

3 - Availability
4 - Mean Time Between Failure
5 - Mean Time To Repair
6 - Mean Down Time (MDT) = Mean Wait Time + MTTR
7 - Mean Time Between Maintenance
8 - Mean Time Between Preventive Maintenance

الف) سیستم‌هایی که به‌صورت مداوم استفاده می‌شوند

سیستم‌هایی مانند موتور که همواره یا غالباً در زمان فعالیت سیستم اصلی (یا مجموعه بالاتر) کار می‌کنند از جمله این سیستم‌ها هستند. زمان تقویمی متوسط بین خرابی‌ها در این گونه سیستم‌ها برابر با زمان کار بین خرابی‌ها می‌باشد، بنابراین هم زمان کار و هم زمان وقفه، هر دو براساس زمان تقویمی اندازه‌گیری می‌شوند. در این حالت دسترس‌پذیری عملیاتی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$A_0 = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \qquad (۲)$$

که در آن داریم:

- MTBM : میانگین زمان بین اجرای فعالیت‌های نت
- MDT : متوسط زمان توقف

طبق تجربیات کسب شده در سیستم‌های نظامی، اگر در لجستیک به تجهیزاتی برخورد نمودیم که با نمونه‌های موجود در انبار شباهتی نداشت در آن صورت از مقادیر زیر به عنوان ورودی استاندارد جهت تعیین دسترس‌پذیری عملیاتی برابر ۰/۸۹ استفاده می‌کنیم: [۴]

- قابلیت اعتماد، میانگین زمان بین خرابی‌ها MTBF=1.0
- قابلیت نگهداری، میانگین زمان تا تعمیر: MTTR=3
- قابلیت پشتیبانی[1]: MALDT= 125

ب) سیستم‌های یکبارمصرف

این سیستم‌ها معمولاً فقط یکبار استفاده می‌شوند و قابل بازیافت نیستند، مثل مهمات، موشک و غیره. در این سیستم‌ها زمان وقفه اهمیت کمی دارد، بنابراین دسترس‌پذیری عملیاتی (A_0) با تقسیم تعداد دفعات موفق انجام مأموریت بر تعداد کل دفعات انجام مأموریت محاسبه می‌شود.

$$A_0 = \frac{\text{تعداد دفعات انجام موفقیت‌آمیز}}{\text{کل تعداد دفعات انجام کار}} \qquad (۳)$$

ج) سیستم‌هایی با کاربری متناوب (دوره‌ای)

سیستم‌هایی مانند بی‌سیم که معمولاً برای مدت طولانی در حالت آماده به کار می‌مانند، در خلال زمان استفاده، در دوره‌هایی از زمان، به‌صورت غیرفعال هستند. به این گونه سیستم‌ها، سیستم‌های دوره‌ای می‌گویند، چون زمان کار این سیستم‌ها با زمان تقویمی یکی نیست (گاهی زمان وقفه نیز این گونه است). در این شرایط، MTBM را باید تنظیم کرده و بر همین اساس تغییر داد.

$$A_0 = \frac{\text{MTBM + زمان آماده به کار}}{\text{MDT + MTBM + زمان آماده به کار}} \qquad (۴)$$

۲-۲- ارزیابی آمادگی واحدها با استفاده از سیستم گزارش وضعیت آموزش منابع (SORTS)[2]

ارزیابی آمادگی سازمان برای اجرای ماموریت‌ها با توجه به تنوع عوامل دشوار است و به شدت به شرایط مختلف پیش‌رو بستگی دارد. آمادگی سازمانی معمولاً در سه بخش کلی آمادگی استراتژیک[3]، آمادگی عملیاتی[4] و آمادگی تاکتیکی[5] ارزیابی و گزارش می‌شود. مطابق مدل فوق تعاریف سطوح مختلف آمادگی به خصوص برای سازمان‌های نظامی، عبارتند از:

- آمادگی استراتژیک: (آمادگی برای اجرای ماموریت)، توانایی اجرای کامل دامنه‌ای از استراتژی‌های سازمان
- آمادگی عملیاتی: (آمادگی مشترک)، توانایی هماهنگی و یکپارچه‌سازی در اجرای مأموریت‌های تخصصی
- آمادگی تاکتیکی: (آمادگی واحد)، توانایی انجام فعالیت‌ها با توجه به قابلیت‌های طراحی شده

سیستم گزارش وضعیت آموزش و منابع (SORTS)، سیستمی است که "وضعیت" واحدهای سازمانی را به لحاظ آمادگی روزانه و توان اجرای عملیات در صحنه‌های متصور را برای نیروهای نظامی می‌سنجد [۹]. تمامی واحدهای احتیاط و گارد فعال ایالات متحده با توجه به مدل SORTS، گزارش می‌دهند تا فرماندهی چشم‌انداز خوبی از آمادگی نیروهایش در اختیار داشته باشد. واحدها وضعیت آمادگی خود را در چهار حوزه مجزا سنجیده و گزارش می‌کنند که شامل حوزه پرسنل[6] (P-Level)، پشتیبانی[7] (S-Level)، آمادگی تجهیزات[8] (R-Level) و آموزش[9] (T-Level) می‌باشد [۱۰]. این حوزه‌ها در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

1 - Mean Administrative and Logistics Delay Time

2 - Status Of Resources & Training System
3 - Strategic Readiness
4 - Operational Readiness
5 - Tactical Readiness
6 - Personnel
7 - Support on hand
8 - Equipment Readiness
9 - Training

جدول (۱): شاخص‌های مدل SORTS

۱	P_level	آمادگی پرسنل
۲	S_level	وضعیت پشتیبانی
۳	R_level	آمادگی تجهیزات
۴	T_level	آموزش

برای بررسی آمادگی باید ابتدا آمادگی در هر یک از حوزه‌های فوق به‌صورت درصد آمادگی محاسبه گردد. برای این کار به‌صورت ساده از رابطه مربوط به دسترس‌پذیری به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$\text{آمادگی تجهیزات} = \frac{\text{تعداد اقلام در دسترس}}{\text{تعداد اقلام سازماندهی شده}} \quad (۵)$$

تعداد اقلام در دسترس، نشان‌دهنده تعداد تجهیزاتی است که در زمان مورد نظر و یا در یک بازه زمانی مشخص برای انجام مأموریت در دسترس هستند و تعداد اقلام سازماندهی شده نیز نشان‌دهنده تعداد کل تجهیزاتی است که برای انجام مأموریت‌ها سازماندهی شده و در ساختار سازمان مشخص شده‌اند.

در صورتی که تعداد تجهیزات مرتبط، کمتر از ۱۰ عدد باشد، برای سهولت در محاسبه درصد آمادگی می‌توان از جداولی که بدین منظور تهیه شده است، استفاده کرد که نمونه‌ای از آنها در جدول (۲) ارائه شده است.

لازم به ذکر است که محاسبات این جداول بر اساس فرمول شماره (۵) می‌باشد که در محاسبه درصد آمادگی اعداد تا اندازه‌ای که تغییر سطح داده نشود، گرد شده‌اند. پس از تعیین درصد آمادگی در هر حوزه باید سطح آمادگی هر حوزه مشخص گردد. هر یک از حوزه‌های یاد شده دارای چهار سطح می‌باشند که با استفاده از جداول می‌توان سطح آمادگی در هر حوزه را با استفاده از درصد آمادگی در آن حوزه مشخص نمود (جدول ۳).

جدول(۲): ماتریس درصد تجهیزات آماده

قاعده	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	تعداد تجهیزات آماده	ستون تعداد تجهیزات سازمانی یا مورد نیاز را بیابید								
		۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
۱	۹	۱۰۰								
۲	۸	۹۰	۱۰۰							
۳	۷	۸۶	۹۰	۱۰۰						
۴	۶	۸۰	۸۶	۸۶	۱۰۰					
۵	۵	۷۶	۸۰	۸۰	۸۶	۱۰۰				
۶	۴	۷۰	۷۶	۷۶	۸۰	۸۰	۱۰۰			
۷	۳	۴۴	۷۰	۷۰	۷۰	۷۰	۸۰	۱۰۰		
۸	۲	۳۳	۴۵	۵۵	۵۹	۶۰	۷۰	۸۰	۱۰۰	
۹	۱	۲۲	۲۷	۳۳	۳۷	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۱۰۰
۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول(۳): بازه‌های تعیین سطح آمادگی تجهیزات (R_level)

سطح	درصد آمادگی
R-1	۹۰-۱۰۰
R-2	۷۰-۸۹
R-3	۶۰-۶۹
R-4	۰-۵۹

نکته مهم در سیستم SORTS آن است که در صورتی که آمادگی هر یک از حوزه‌های فوق در سطح اول نباشد، حتماً باید دلایل آن با استفاده از جداول استانداردی که بدین منظور تهیه شده و در آن دلایل کدگذاری شده است، مشخص و گزارش داده شود.

پس از تعیین سطوح هر یک از حوزه‌ها، سطح آمادگی کلی (C_level) با توجه به کمترین سطح آمادگی در بخش‌های فوق مشخص می‌گردد. آمادگی کل سازمان برای اجرای ماموریت به‌صورت زیر تعریف می‌شود: [۱۰-۱۲]

- سطح C-1: واحد می‌تواند کل مأموریتی را که برای آن سازماندهی و طراحی شده است، انجام دهد.
- سطح C-2: واحد می‌تواند اکثریت قریب به اتفاق بخش‌های مأموریت محوله را انجام دهد.
- سطح C-3: واحد می‌تواند بخش‌های اصلی مأموریت محوله را انجام دهد.
- سطح C-4: واحد نیازمند امکانات و یا آموزش‌های اضافی است تا بتواند مأموریت خود را انجام دهد. اما اگر وضعیت اقتضا کند، شاید بتواند بخش‌هایی از مأموریت محوله را با امکانات فعلی انجام دهد.

در مدل اولیه SORTS فقط چهار سطح C-1 تا C-4 وجود داشت، اما در تکمیل آن سطوح C-5 و C-6 نیز به شرح زیر به سیستم اضافه شده است:

- سطح C-5: واحد تحت تغییر منابع و امکانات قرار دارد و آماده انجام مأموریت نیست.
- سطح C-6: نیازی به ارزیابی آمادگی واحد نیست.

همان‌طور که قبلاً بیان شد اگر واحدی کاملاً آماده نباشد (C-2 یا کمتر)، دلیل این شرایط باید گزارش شود.

۲-۳- سیستم خبره فازی

رویکرد فازی امکان تخمین آمادگی تجهیز را قبل از انجام ماموریت و بر اساس شاخص‌های تعیین شده فراهم می‌سازد. رهیافت مذکور امکان به کارگیری مجموعه‌های فازی، متغیرهای زبانی و استنتاج به کمک قواعد فازی در موضوعات مبهم را به منظور فرموله کردن دانش فراهم می‌کند. برای جمع‌آوری اطلاعات به‌منظور تشکیل پایگاه دانش سیستم خبره اقدامات زیر لازم الاجراست [۲]:

- انتخاب شاخص‌های مؤثر بر آمادگی.
- انتخاب روشی برای مدل‌سازی داده‌ها.
- مشخص ساختن قوانین.
- طراحی سیستم خبره.

سیستم خبره فازی از بخش‌های زیر تشکیل شده است[۲]:

- پایگاه دانش (تعریف متغیرهای زبانی، واژه‌ها و قواعد).
- پردازشگر متغیرهای ورودی (فازی‌سازی).
- موتور استنتاج (تحلیل).
- پردازش نتایج (فازی زدایی).

در حالتی که داده‌ها زیاد نباشد، اما دانش خبرگان در زمینه موضوع مورد بررسی کافی باشد، سیستم‌های خبره در تهیه سیستم‌های پشتیبان از تصمیم توانا هستند.

سیستم‌های خبره فازی با استفاده از توانایی‌های تئوری مجموعه‌های فازی، سیستم‌هایی دقیق‌تر، ساده‌تر و نزدیک‌تر به واژه‌های آشنا را برای خبرگان فراهم می‌آورد. برخی از دلایل استفاده از مجموعه‌های فازی عبارتند از ابهام و عدم اطمینان در تعریف و میزان دقیق وضعیت تجهیزات، ذهنی بودن نظرات خبرگان، حجم کمتر محاسبات نسبت به سیستم‌های خبره دقیق و تعریف و شناسایی ترجیحات به صورت مبهم که می‌بایست در تهیه یک سیستم خبره مورد توجه قرار گیرند.

۲-۴- پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی

روش محاسبه شبکه‌های عصبی (NNs) متفاوت با روش‌های متداول است؛ زیرا از روی عملکرد مغز و شبکه عصبی انسانها الگوبرداری و مدل‌سازی شده است [۱۳]. شبکه‌های عصبی دارای ساختار ریاضی بسیار غنی هستند. مهمترین قسمت یک شبکه عصبی مرحله یادگیری است. در فرآیند یادگیری، وزن‌ها به‌صورت مناسب پیدا می‌شود. برای این کار از یک مجموعه نمونه که مجموعه یادگیری نامیده می‌شود، استفاده می‌شود تا وزن‌های مناسب به دست آید.

در پیش‌بینی، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) سیستم‌های فازی و دیگر روش‌های هوشمند محاسباتی، ابزاری جایگزین برای محققان و عاملان پیش‌بینی فراهم کرده‌اند[۱۴]. طبق گزارش وربوس[1] [۱۵] شبکه‌های عصبی آموزش داده شده به وسیله‌ی الگوریتم انتشار به عقب، دقت پیش‌بینی بالاتری نسبت به روش‌های آمار سنتی مانند رگرسیون و رویکردهای باکس جنکینز[2] دارد. شبکه‌های عصبی از مثال‌ها می‌آموزند و سعی می‌کنند روابط تابعی را از میان داده‌ها اتخاذ کنند. از این رو شبکه‌های عصبی برای

1 - Werbos
2 - Box- Jenkins

مسائل عملی بسیار مناسب می‌باشند. مشکل اصلی شبکه‌های عصبی این است که تصمیم‌های آنها همیشه آشکار نیست. با این حال ابزاری موجه برای پیش‌بینی مسائل عملی به حساب می‌آیند.

از شبکه‌های عصبی کوهونن و آرت برای طبقه‌بندی و خوشه‌یابی و از شبکه پرسپترون عموماً برای طبقه‌بندی و تشخیص الگو استفاده می‌شود. از پرسپترون چند لایه‌ای می‌توان برای پیش‌بینی، مدل‌سازی فرآیند، کنترل عملیات و پردازش تصویر استفاده کرد. همچنین پرسپترون چندلایه‌ای می‌تواند روابط غیرخطی را نیز تخمین بزند[۱۶]. از شبکه عصبی موجک به منظور طبقه‌بندی موقعیت‌های عیوب هنگامی که نشانگرهای عیوب، سیگنال‌هایی با بسامد بالا هستند، استفاده می‌شود. شبکه عصبی موجک (WNN) به عنوان مدلی برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبکه عصبی موجک ابزاری است که ویژگی‌های پیچیده یا نشانه‌های عیوب را ترسیم می‌کند. نمونه‌هایی از کاربرد شبکه عصبی موجک در پیش‌بینی عیوب و پیش‌بینی آمادگی تجهیزات در [۱۷-۲۰] ارائه شده است.

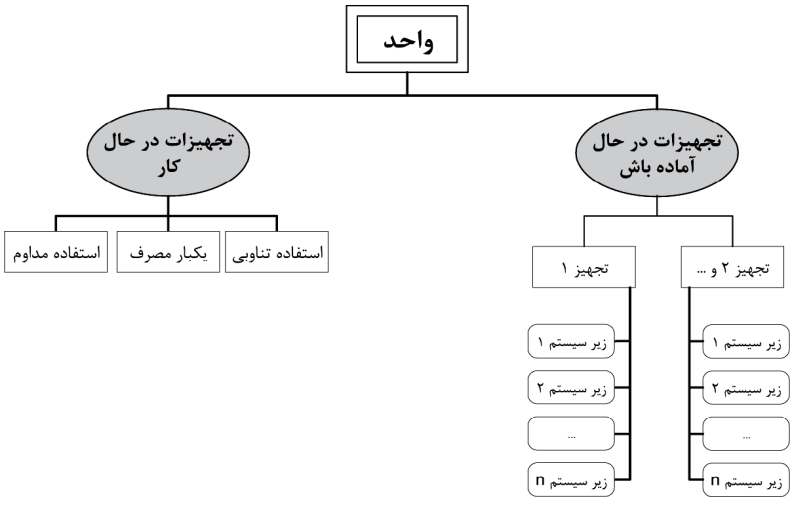
۳- مدل‌سازی سنجش آمادگی تجهیزات

آمادگی برای افراد مختلف معانی متفاوت دارد و طیف وسیعی از مفاهیم استراتژیک تا حوزه‌های تاکتیکی را در برمی‌گیرد. آمادگی تاکتیکی به عواملی چون پرسنل، آموزش، تجهیزات و پشتیبانی بستگی دارد. با این رویکرد، آمادگی؛ وضعیت یک واحد را در انجام مأموریتی که برای آن سازماندهی یا طراحی شده است، نشان می‌دهد. با توجه به تعریف فوق، "آمادگی یک تجهیز" به معنای در دسترس بودن تجهیز در زمان مورد نیاز و یا در یک بازه زمانی مورد قبول برای انجام مأموریتی مشخص، می‌باشد. در بخش ۲-۱ روش‌های گوناگون محاسبه میزان دسترس‌پذیری تشریح گردید. شکل (۱) نموداری شماتیک از روش‌های محاسبات وضعیت تجهیزات را نشان می‌دهد.

برای محاسبه آمادگی تجهیزات واحد، دسته‌بندی تجهیزات به‌صورت سلسله مراتبی که در شکل (۱) آمده است، انجام شد. در تجهیزات در حال کار (به‌صورت استفاده مداوم، یکبار مصرف و استفاده تناوبی)، از فرمول دسترس‌پذیری برای محاسبه وضعیت تجهیزات استفاده شد. تجهیزات در حال آماده به کار، بر حسب نوع طراحی و ماموریت، تقسیم شدند. هر کدام از این تجهیزات نیز به زیرسیستم‌های اصلی تقسیم گردید. از سیستم خبره فازی برای تعیین وضعیت زیرسیستم‌ها استفاده شده است.

۳-۱- سنجش آمادگی تجهیزات با استفاده از تجمیع میزان آمادگی زیرسیستم‌ها

در این روش برای تعیین میزان آمادگی تجهیز باید کل تجهیزات را به‌صورت مجموعه‌ای از سیستم‌ها، زیرسیستم‌ها و اجزا دید. علاوه بر ساختار باید نوع آن از نظر اهمیت مشخص شود. این دسته‌ها عبارتند از تجهیزات تسهیل کننده، تجهیزاتی که باعث صرفه‌جویی در زمان استفاده می‌شوند و تجهیزات ضروری (بحرانی) که در صورت نبود و یا کار نکردنشان موفقیت ماموریت به خطر می‌افتد. محاسبه میزان آمادگی تجهیزات به‌صورت سلسله مراتبی انجام می‌شود و وزن‌دهی براساس اهمیت هر بخش در آمادگی کل به دست می‌آید. تجهیزاتی به لحاظ عملیاتی آماده



شکل (۱): ساختار سلسله مراتبی محاسبات وضعیت تجهیزات برای واحد

محسوب می‌شوند که قابلیت اطمینان لازم را دارا باشند و بتوانند مأموریت‌های واحد را انجام دهند[۳].

آمادگی در هر گره بر اساس سه معیار کارشناسی، محاسبات کارشناسی و محاسبات اولیه انجام می‌شود. در هر گره مقدار کارشناسی توسط خبره مربوطه وارد می‌شود و از اعداد پایین‌تر به دست نمی‌آید. البته در صورتی که کاربر عدد کارشناسی را وارد نکند به طور پیش فرض مقدار محاسبات اولیه (یعنی نظر ارزیاب که با توجه به چک لیستی مدون جمع‌آوری می‌گردد)، در آن قرار می‌گیرد. در هر گره مقدار محاسبات کارشناسی از مقدار کارشناسی‌های گره‌های زیرسیستم آن (گره‌های فرزند) به دست می‌آید و مقدار محاسبات اولیه نیز از روی مقدار محاسبات اولیه گره‌های زیرسیستم آن (گره‌های فرزند) به دست می‌آید. در محاسبات کارشناسی و محاسبات اولیه، مقدار آمادگی هر گره روی درخت تجهیز با توجه به مقدار آمادگی گره‌های زیرمجموعه آن به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{آمادگی گره} \begin{cases} 0 & \text{اگر مقدار آمادگی یکی از اجزاء الزامی باشد:} \\ \Sigma(\text{وزن جزء}) \times (\text{مقدر آمادگی جزء}) & \text{در غیر این‌صورت} \end{cases} \quad (۶)$$

قابلیت‌های ایجاد شده در سیستم برای محاسبه آمادگی تجهیزات عبارتند از:

۱-امکان تعیین ساختار سازمانی (یا عناصر) به‌صورت سلسله مراتبی و مشخص کردن نقش و درجه اهمیت هر عنصر در ارزیابی تجهیزات.

۲-امکان تعیین ساختار تجهیز به‌صورت درختی و تعیین سیستم‌ها، زیرسیستم‌ها و قطعات تا پایین‌ترین سطح.

۳-امکان تعریف مأموریتهای مختلف برای تجهیز و محاسبه میزان آمادگی با توجه به نوع ماموریت .

۴-قابلیت تعیین وزن (درجه اهمیت) و همچنین الزامی یا غیر الزامی بودن کلیه عناصر درخت تجهیز در ارزیابی آمادگی با توجه به ماموریت‌ها.

۵-امکان بررسی و نظارت بر تغییرات انجام شده در مقادیر آمادگی در سطوح سازمان تا بالاترین سطح مدیران ارشد.

۶-امکان ارائه گزارش آمادگی تجهیزات به‌صورت عددی، نموداری، طیف رنگی و ... .

۷-امکان بررسی و گزارش‌گیری آمادگی گذشته و روند آمادگی در یک بازه مشخص.

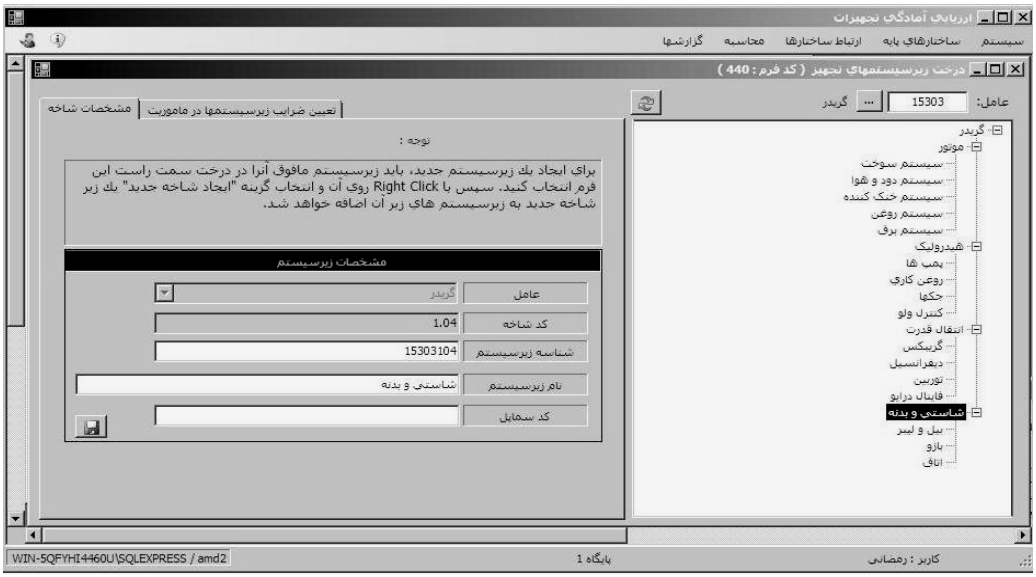
۸-امکان ورود داده‌های شاخص‌های مؤثر بر آمادگی (برای استفاده در پیش‌بینی آمادگی بر اساس روش‌هایی چون سیستم خبره یا شبکه عصبی).

۹-ثبت و ارائه گزارش دلایل عدم آمادگی یا پایین بودن میزان آمادگی.

شکل (۲) نمونه‌ای از این محاسبات را برای یکی از انواع ماشین‌آلات راهسازی با اعداد فرضی نشان می‌دهد.

نمونه‌ای از تصاویر نرم‌افزار در شکل (۳) و (۴) ارائه شده است.

شکل(۲): نمونه‌ای از محاسبات (با اعداد فرضی)

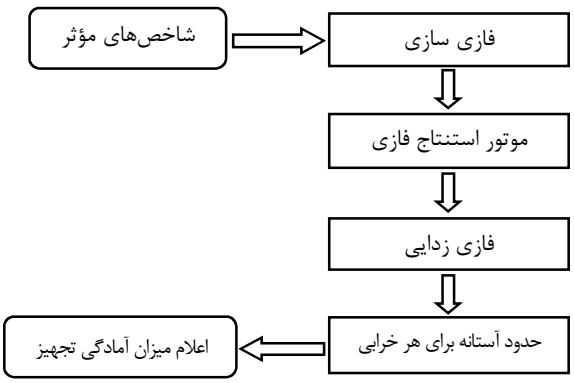


شکل(۳): مثالی از نرم‌افزار (با اعداد فرضی)

شکل(۴): مثالی از نرم‌افزار (با اعداد فرضی)

۳-۲ ارزیابی آمادگی تجهیزات به کمک سیستم خبره

در این تحقیق برای ارزیابی آمادگی تجهیزات در حال کار از فرمول‌های دسترس‌پذیری که داده‌های ورودی آن از سابقه عملکرد به‌دست می‌آید، استفاده شده است. اما برخی از تجهیزات در حال آماده به کار هستند و لذا سابقه داده‌ای ندارند، برای این تجهیزات ارزیابی وضعیت با استفاده از سیستم خبره فازی انجام می‌گردد. رویکرد فازی امکان تخمین آمادگی تجهیز را قبل از انجام ماموریت و براساس شاخص‌های تعیین شده، فراهم می‌سازد. رهیافت مذکور امکان به کارگیری مجموعه‌های فازی، متغیرهای زبانی و استنتاج به کمک قواعد فازی در موضوعات مبهم را به منظور فرموله کردن دانش فراهم می‌کند. برای تعیین میزان آمادگی، سیستم خبره فازی طبق فرآیند شکل (۵) عمل می‌کند.



شکل(۵): فرآیند محاسبه میزان آمادگی تجهیزات با سیستم خبره فازی

در این نوع سیستم خبره از توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده شده است. از تابع مینیمم (Min) برای اشتراک و از تابع ماکزیمم (Max) برای اجتماع استفاده شده است. برای فازی‌زدایی[1] از دو روش مرکز ثقل[2] و میانه ماکزیمم‌ها[3] استفاده شده است. شاخص‌های به کار رفته در ورودی سیستم خبره در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول(۴): شاخص‌های به کار رفته در ورودی سیستم خبره

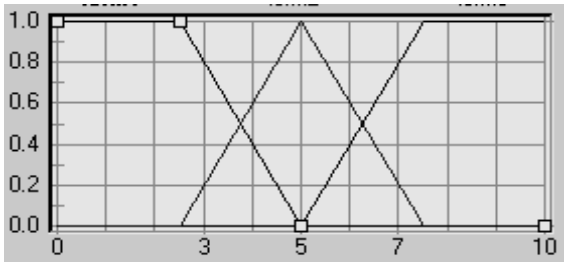
عامل	واحد
عمر تجهیز	سال
کیفیت تعمیرات	درصد
قابلیت پشتیبانی و جایگزینی	درصد

شاخص عمر از کم‌کردن سال به‌کارگیری زیرسیستم از سال جاری به‌دست می‌آید.

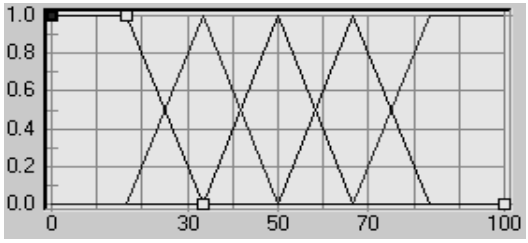
شاخص کیفیت توسط چک لیستی که به همین منظور تهیه شده و در سازمان اجرا می‌شود، محاسبه می‌گردد.

شاخص قابلیت پشتیبانی و جایگزینی نیز توسط کارشناس خبره اعلام می‌گردد.

در تعیین شاخص‌ها سعی بر آن است تا اصلی‌ترین و مؤثرترین عوامل انتخاب شود تا بتوان با داشتن تعداد کمی عامل به دقیق‌ترین تخمین دست یافت. هر چند امکان استفاده از تقسیم‌بندی‌های دیگر و در قالب‌ها و شاخص‌های دیگر نیز وجود دارد، اما با توجه به تجربیات و دانش افراد خبره و نیز تحقیقات صورت گرفته، در نهایت این موضوع به دسته‌بندی موجود رسید. بعد از اینکه موارد مورد اشاره مشخص شد باید قوانین حاکم بر وضعیت تعیین شود. توابع عضویت شاخص‌ها نیز تعریف شد که در شکل‌های (۶) و (۷) آمده است.



شکل(۶): تابع عضویت عمر



شکل(۷): تابع عضویت آمادگی

تابع عضویت کیفیت و قابلیت پشتیبانی و جایگزینی مشابه تابع آمادگی (با تغییرات اندک) می‌باشد. در این سیستم خبره از ۲۷ قاعده استفاده شده است. نمونه‌ای از این قواعد فازی در رابطه زیر آمده است.

IF Age is low and Budget is low and Quality is low THEN Readiness is very low .

که در آن عمر تجهیزات (Age)، کیفیت تعمیرات (Quality)، قابلیت پشتیبانی و جایگزینی (Support) و وضعیت (Readiness) می‌باشد. برای محاسبه وضعیت واحد، ابتدا برای تجهیزات در حال کار محاسبه وضعیت بر اساس فرمول دسترس‌پذیری مربوطه انجام می‌شود و برای تجهیزات در حال آماده باش محاسبه وضعیت زیرسیستم‌های تجهیزات براساس سیستم خبره فازی انجام می‌شود. سپس از پایین به بالا، وضعیت هر بخش از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$X_i=W_{1i}X_{1i}+ W_{2i}X_{2i}+\ldots+ W_{ni}X_{ni} \qquad (۷)$$

۴- پیش‌بینی میزان آمادگی تجهیزات

با توجه به نوع مساله و نوع داده‌ها، روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی وجود دارد. شکل (۸) تقسیم‌بندی روش‌های پیش‌بینی را نشان می‌دهد. در این شکل روش‌های ترکیبی به علت گستردگی دامنه و تعدد ابزارها به ریز نام برده نشده‌اند.

برای پیش‌بینی آمادگی یک تجهیز باید شاخص‌های مؤثر بر آمادگی با استفاده از نظرات خبرگان مشخص گردد. در دستورالعمل تدوین شده برای هر یک از تجهیزات، شاخص‌های مؤثر بر آمادگی ذکر شده است که تعدادی از آنها عبارتنداز:

- عمر
- پشتیبانی از قطعات یدکی
- شرایط نگهداری
- وضعیت آب و هوایی
- نسبت اعتبار تخصیصی به اعتبار لازم

1- Defuzzification
2 -Center of Gravity
3- Mean Of Maxima

- کیفیت تعمیرات
- نوع کاربر(کیفیت)
- آمادگی دوره قبل
- مدیریت

در نرم‌افزاری که مولفان این مقاله برای ارزیابی و پیش‌بینی آمادگی تجهیزات طراحی و پیاده‌سازی کرده‌اند، مدل محاسباتی با استفاده از نرم‌افزار MatLab تولید شده است. داده‌های ورودی این مدل از فایل متنی ساخته شده توسط نرم‌افزار ایجاد می‌شود و سپس مدل اجرا می‌شود و داده‌های خروجی مدل در فایل متنی ذخیره می‌گردد. در نهایت نرم‌افزار تهیه شده از آنها برای ارائه نتایج استفاده می‌نماید. شکل (۹) این فرآیند را نشان می‌دهد.

این فرآیند شامل بخش‌های زیر است:

۱- **تشکیل داده‌های آموزشی:** پس از انجام ارزیابی آمادگی تجهیزات و ذخیره حجم مناسبی از نمونه‌ها (بیش از ۵ برابر تعداد شاخص‌ها)، شامل مقادیر شاخص‌های مؤثر به عنوان شاخص‌های ورودی و مقادیر آمادگی به عنوان شاخص خروجی، داده‌های آموزشی از انتخاب تصادفی ۸۰ درصد از نمونه‌ها تشکیل می‌شود.

۲- **تشکیل داده‌های تست:** ۲۰ درصد از باقیمانده بخش قبل، داده‌های تست را تشکیل می‌دهد.

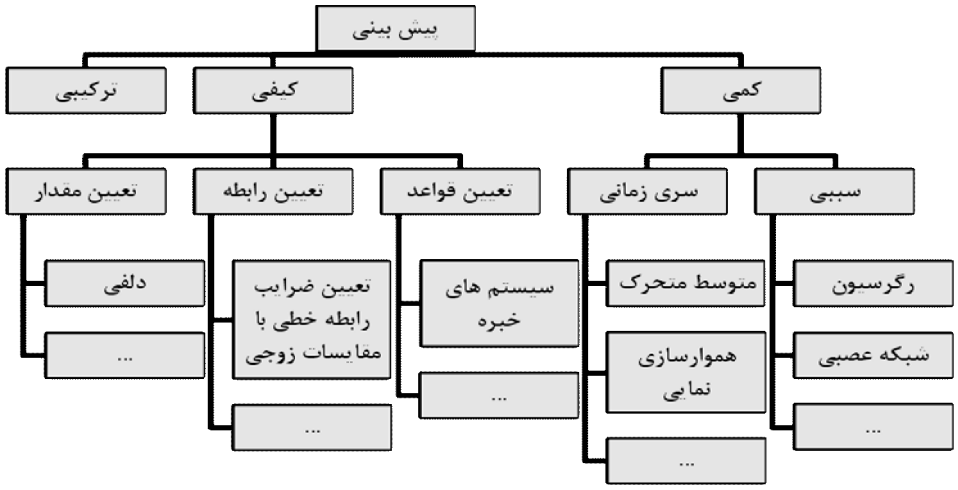
۳- **ویرایش و ساخت مدل:** مدلی که با نرم افزار MatLab ساخته شده است با این داده‌ها اصلاح می‌شود، یعنی آموزش می‌بیند.

۴- **تشکیل داده‌های ورودی پیش‌بینی:** پس از ایجاد مدل آموزش دیده، می‌توان از آن برای پیش‌بینی استفاده کرد. به این منظور مقادیر شاخص‌های ورودی باید به مدل وارد شود که این داده‌ها توسط نرم‌افزار ارزیابی آمادگی ایجاد می‌شود.

۵- **اجرای مدل:** نرم‌افزار ارزیابی آمادگی، دستور اجرای مدل آموزش دیده را با داده‌های ورودی پیش‌بینی می‌دهد و نتیجه میزان پیش‌بینی شده برای آمادگی نمونه وارد می‌شود.

۶- **ارائه جواب:** نرم‌افزار ارزیابی آمادگی، نتیجه میزان پیش‌بینی شده برای آمادگی نمونه وارد شده را به صورت‌های مناسب ارائه می‌دهد که این کار می‌تواند در قالب یک عدد و یا نمودارهای تحلیل حساسیت باشد.

۷- **سیستم پشتیبان از تصمیم:** با انجام بخش‌های ۴ تا ۶ می‌توان یک سیستم پشتیبان از تصمیم داشت که مدیر بتواند با تغییر هر یک از شاخص‌ها تاثیر آن را بر میزان آمادگی مشاهده نماید.



شکل(۸): تقسیم‌بندی روش‌های پیش‌بینی

شکل(۹): فرآیند پیش‌بینی در نرم‌افزار ارزیابی و پیش‌بینی آمادگی تجهیزات

۴-۱- پیش‌بینی آمادگی تجهیزات با استفاده از شبکه عصبی

در این تحقیق، پیش‌بینی آمادگی تجهیزات با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون با دو لایه پنهان انجام گرفت. در این جا هفت شاخص که در جدول (۶) ارائه شده اند، به‌عنوان شاخص‌های ورودی و میزان آمادگی تجهیزات واحد، به‌عنوان شاخص خروجی معرفی شده‌اند. همچنین کدهای زیر برای شناساندن موضوع به نرم‌افزارهای مورد استفاده، تعیین گردید که در جداول (۵) و (۶) آورده شده است.

جدول(۵): کدگذاری میزان آمادگی تجهیزات

میزان آمادگی	درصد آمادگی	کد
عدم آمادگی	زیر ۵۰	۰
آمادگی کم	۵۰ تا ۶۵	۱
آمادگی متوسط	۶۵ تا ۸۵	۲
آمادگی مطلوب	۸۵ تا ۱۰۰	۳

جدول(۶):کدگذاری شاخص‌های مؤثر بر آمادگی تجهیز

شاخص‌های مؤثر بر آمادگی تجهیز	عنوان یا کد در نرم‌افزار
عمر تجهیزات	Age
کیفیت تعمیرات	Quality
قابلیت پشتیبانی و جایگزینی	S&R
شرایط آب و هوایی	Weather
شرایط نیروی انسانی	H.R
میزان بودجه تعمیراتی	Budget
میزان دسترسی به قطعات یدکی	Spare part

۴-۲- اعتبار مدل شبکه عصبی

برای ارزیابی اعتبار مدل شبکه عصبی، مجموعه‌ی داده‌ها به دو مجموعه یادگیری و آزمون تقسیم شد. برای این منظور یک فیلد به پایگاه داده اضافه شد و در آن اعداد تصادفی بین صفر و یک قرار داده شد. سپس از روی این پایگاه داده، مجموعه یادگیری شامل رکوردهای دارای عدد تصادفی بیش از ۰/۲ که تقریبا ۸۰٪ داده‌ها را شامل می‌شود و مجموعه آزمون شامل بقیه رکوردها که تقریبا ۲۰٪ داده‌ها را شامل می‌شود، ساخته شد. برای یادگیری و مدلسازی از مجموعه یادگیری و برای آزمون اعتبار مدل به دست آمده از مجموعه آزمون استفاده شده است. در نهایت نتایج به دست آمده از مدل شبکه عصبی طراحی شده برای پیش‌بینی آمادگی تجهیزات با نظرات خبرگان مقایسه و تطبیق داده شد. این تطبیق نشانگر توانایی و صحت میزان پیش‌بینی شده آمادگی تجهیزات در این مدل می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله بحث آمادگی تجهیزات به عنوان ابزاری مهم در تصمیم‌گیری مدیران نگهداری و تعمیرات و مدیران ارشد سازمان مطرح شد. در ارزیابی آمادگی با توجه به ماهیت داده‌های ورودی از ترکیب روش‌های کمی و کیفی استفاده شد. با توجه به اینکه تاثیر عوامل مختلف مؤثر بر آمادگی برای خبرگان تا حدودی شناخته شده است، برای روش کیفی سنجش آمادگی تجهیزات، از سیستم خبره فازی استفاده شد. دلایل پایین‌بودن آمادگی برای هر واحد از سازمان، توسط سیستم از کارشناس اخذ و جهت استفاده در نرم‌افزار مدیریت می‌شود. نتایج سیستم پیاده‌سازی شده نشان می‌دهد که عللی که کارشناسان در سیستم وارد می‌کنند نیز مهم و کاربردی است. برای پیش‌بینی آمادگی تجهیزات نیز از شبکه عصبی استفاده شد.

در ادامه برای ارزیابی آمادگی می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی استفاده کرد. همچنین می‌توان از ترکیب مدیریت دانش و داده کاوی برای تحلیل‌های جدید و ایجاد دانش جدید در سیستم‌های مدیریتی خصوصاً برای سازمان‌های بزرگ که دارای واحدهای زیاد و سطوح سلسله مراتبی هستند، استفاده نمود.

۶- منابع

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

[۲] معماریانی، عزیز ا..؛ علیزاده، علیرضا؛ یوسفی، علیرضا؛ سیستم خبره فازی برای برآورد هزینه‌های نگهداری و تعمیرات، ششمین کنفرانس سیستم‌های فازی ایران و نخستین کنفرانس سیستم‌های فازی در جهان اسلام، ۱۳۸۵.

[3]Thomas J. Edwards and Rick A. Eden, Velocity Management And The Revolution In Military Logistics, Santa Monica, CA: RAND, RP-752, 2006.

[4]John Dumond, Rick Eden, and John Folkeson, Velocity Management: An Approach For

Improving The Responsiveness And Efficiency Of Army Logistics Processes, Santa Monica, CA: RAND, DB-126-1-A, 1999.
[5] J. Edwards and Rick A. Eden , Diagnosing The Army's Equipment Readiness, The Equipment Downtime Analyzer, 2006.
[6] Lily Amelia, D.A. Wahab, A. Hassan, Modelling of Evaluation and Maintenance Raliability Using Fuzzy Expert System, Expert Systems With Applications, Volume 36, Issue 5, Pages 8735-8749, 2009.
[7] N. Propes, S. Lee, G. Zhang, I. Barlas, Y. Zhao, G. Vachtsevanos, A. Thakker, and T. Galie, ‘‘A Real-Time Architecture For Prognostic Enhancements To Diagnostic Systems,’’ MARCON, Knoxville, TN, May 6–8, 2002.
[8] G. Zhang, S. Lee, N. Propes, Y. Zhao, G. Vachtsevanos, A. Thakker, and T. Galie, ‘‘A Novel Architecture For An Integrated Fault Diagnostic/Prognostic System,’’ AAAI Symposium, Stanford, CA, March 25–27, 2002.
[9] Paul H. Orth, Major, Measuring The Operational Readiness Of An Air Force Network Warfare Squadron, USAF, AFIT/ICW/ENG/08-09, Department Of The Air Force, Air University, Air Force Institute Of Technology, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, Department Of Electrical & Computer Engineering, Graduate School Of Engineering And Management, Air Force Institute Of Technology, Air University, Air Education And Training Command, 2008 .
[10] Army Regulation 220–1, Field Organizations Unit Status Reporting, Headquarters Department Of The Army, Washington, DC,2003.
[11] Status Of Resources And Training System (SORTS) Army, Http://Jitc.Fhu.Disa.Mil/Gccsiop/Iop_Table.Pdf.
[12] Chairman Of The Joint Chiefs Of Staff Instruction, J-3 CJCSI 3401.02, Global Status Of Resources And Training System, 2001.
[13] F. L. Lewis, S. Jagannathan, and A. Yesildirek, Neural Network Control Of Robot Manipulators And Nonlinear Systems. London: Taylor & Francis, 1999.
[14] R. Sharda, ‘‘Neural Network for the MS/OR Analyst: An Application Bibliography,’’ Interfaces 24(2):116–130, 1994.
[15] P. J. Werbos,‘‘Generalization of Backpropagation With Application To Recurrent Gas Market Model,’’ Neural Networks 1:339–356, 1988.
[16] DataEngine Manual, MIT GmbH, 1999.
[17] G. Vachtsevanos and P. Wang, ‘‘A Wavelet Network Framework For Diagnostics Of Complex Engineered Systems,’’ Proceedings Of MARCON 98 Maintenance And Reliability Conference, Knoxville, TN, May 12–14, 1998.
[18] Murat Ceylan, Rahime Ceylan, Yüksel Özbay, Sadik Kara, Application Of Complex Discrete Wavelet Transform In Classification Of Doppler Signals Using Complex-Valued Artificial Neural network, Artificial Intelligence In Medicine, Volume 44, Issue 1, Pages 65-76, 2008.
[19] Jian-Da Wu, Chiu-Hong Liu, Investigation of Engine Fault Diagnosis Using Discrete Wavelet transform And Neural Network, Expert Systems with Applications, Volume 35, Issue 3, Pages 1200-1213, 2008.
[20] Jian-Da Wu, Chiu-Hong Liu, An Expert System For Fault Diagnosis In Internal Combustion Engines Using Wavelet Packet Transform And Neural Network, Expert Systems with Applications, In Press, Corrected Proof, Available online 3 April 2008.