INSO
20172-1
1st.Edition
2016

جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran
سازمان ملی استاندارد ایران
Iranian National Standardization Organization

استاندارد ملی ایران
۲۰۱۷۲-۱
چاپ اول
۱۳۹۴

پایش وضعیت و عیب‌یابی ماشین‌آلات - تفسیر داده‌ها و فنون عیب‌یابی

قسمت ۱:

راهنمایی‌های عمومی

Condition monitoring and diagnostics of machines - Data interpretation and diagnostics techniques -
Part 1:
General guidelines

ICS: 17.160

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۱۲۹۴

صندوق‌پستی: ۶۱۳۹-۱۴۱۵۵ تهران- ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج - شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۱۶۳-۳۱۵۸۵ کرج - ایران

تلفن: ۸- ۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: http://www.isiri.org

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: http://www.isiri.org

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفهٔ تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند درکمیته ملی طرح، بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)[1]، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این‌گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2- International Electrotechnical Commission
3- International Organization for Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legals)
4- Contact point
5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

« پایش وضعیت و عیب‌یابی ماشین‌آلات - تفسیر داده‌ها و فنون عیب‌یابی- قسمت ۱: راهنمایی‌های عمومی »

رئیس:	**سمت و/یا محل اشتغال:**
رنجبر، سیدفرامرز (دکتری مهندسی مکانیک)	دانشگاه تبریز
دبیر:	
آذریان، پیمان (کارشناسی فیزیک)	شرکت طرح ابتکار انرژی
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
پورگل‌محمد، حمید (دکتری مهندسی صنایع)	دانشگاه صنعتی سهند
ترکمن، لیلا (کارشناسی‌ارشد مهندسی مکانیک)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
فلاح اردشیر، هادی (کارشناسی‌ارشد مهندسی مکانیک)	شرکت سهند انرژی
گیسویی، مجید (کارشناسی‌ارشد مهندسی مکانیک)	آزمایشگاه همکار پاک تاب آذر
محمدی، رضا (کارشناسی مهندسی مکانیک)	صنایع بنیان موتور
مقدم، نجف (کارشناسی مهندسی مکانیک)	شرکت دونار خزر
هادی، کاظم (کارشناسی‌ارشد مهندسی مکاترونیک)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
وظیفه‌خورانی، بهروز (کارشناسی‌ارشد مدیریت صنعتی)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی
ویراستار:	
ترکمن، لیلا (کارشناسی‌ارشد مهندسی مکانیک)	اداره کل استاندارد استان آذربایجان شرقی

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران ج
پیش‌گفتار ز
۱ هدف و دامنهٔ کاربرد ۱
۲ مراجع الزامی ۱
۳ اصطلاحات و تعاریف ۱
۴ تنظیم شرایط پایش و الزامات عیب‌یابی ۲
۴-۱ نقش عیب‌یابی در عملیات و نگه‌داری ۲
۴-۲ استقرار نیازهای عیب‌یابی ۲
۴-۳ تحلیل نشانه‌های مُد خرابی ۴
۴-۴ گزارش الزامات عیب‌یابی ۸
۵ اجزای به کار رفته برای عیب‌یابی ۹
۵-۱ داده‌های پایش وضعیت ۹
۵-۲ داده‌های ماشین ۱۲
۵-۳ تاریخچهٔ ماشین ۱۲
۶ رویکردهای عیب‌یابی ۱۲
۶-۱ دو نوع از رویکردها ۱۲
۶-۲ راهنمایی‌های عمومی برای انتخاب رویکردهای عیب‌یابی مناسب ۱۳
۶-۳ رویکردهای داده‌محور ۱۴
۶-۴ رویکرد دانش‌محور ۲۰
۶-۵ تعیین فاکتور اطمینان ۲۷
پیوست الف (آگاهی‌دهنده)، مُد خرابی و تحلیل نشانه (FMSA) ۲۸
پیوست ب (آگاهی‌دهنده)، تاثیر سیستم عیب‌یابی ۳۱
پیوست پ (آگاهی‌دهنده)، تحلیل تطبیقی مدل‌های عیب‌یابی ۳۳

عنوان **صفحه**

پیوست ث (آگاهی‌دهنده)، مثالی از گزارش عیب‌یابی ۳۵
پیوست ج (آگاهی‌دهنده)، مثالی از مدل‌سازی درخت علت و معلول: پوسته‌پوسته شدن یاتاقان ۳۸
پیوست چ (آگاهی‌دهنده)، مثالی از تعیین سطح اطمینان عیب‌شناسی ۴۰
کتابنامه ۴۱

پیش‌گفتار

استاندارد «پایش وضعیت و عیب‌یابی ماشین‌آلات- تفسیر داده‌ها و فنون عیب‌یابی- قسمت ۱: راهنمایی‌های عمومی» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط تهیه و تدوین شده است، در دویست‌وشصتمین اجلاسیه کمیتهٔ ملی استاندارد اندازه‌شناسی و اوزان و مقیاس‌ها مورخ ۹۴/۱۰/۳۰ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک مادهٔ ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوهٔ نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینهٔ صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون‌های مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

منبع و مأخذی (منابع و مآخذی) که برای تهیه و تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

ISO 13379-1:2012, Condition monitoring and diagnostics of machines - Data interpretation and diagnostics techniques - Part 1: General guidelines

پایش وضعیت و عیب‌یابی ماشین‌آلات - تفسیر داده‌ها و فنون عیب‌یابی
قسمت ۱: راهنمایی‌های عمومی

۱ هدف و دامنهٔ کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه راهنمایی‌هایی برای تفسیر داده‌ها و عیب‌یابی ماشین‌آلات است. این راهنمایی‌ها برای موارد زیر در نظر گرفته شده‌اند:

- به کاربران و سازندگان این سیستم امکان به اشتراک گذاشتن مفاهیم متداول در زمینه عیب‌شناسی[1] ماشین‌آلات را می‌دهد؛
- کاربران را قادر می‌سازد تا مشخصه‌های فنی لازم، برای عیب‌شناسی بیشتر وضعیت‌های ماشین را آماده کنند؛
- یک رویکرد مناسب برای دستیابی به تشخیص عیوب ماشین ارائه می‌دهد.

از آن‌جایی که این موارد، راهنمایی‌های عمومی هستند، برای بخشی از انواع ماشین‌آلات اشاره شده کاربرد ندارد. با این حال، این استاندارد، عموما شامل ماشین‌آلات صنعتی از قبیل توربین‌ها، کمپرسورها، پمپ‌ها، ژنراتورها، موتورهای الکتریکی، دمنده‌ها[2]، جعبه دنده‌ها، و فن‌ها کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین‌ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مرجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 ISO 13372, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vocabulary

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف ارائه شده در استاندارد ISO 13372 به کار می‌رود.

---

1 - Diagnosis
2 - Blowers

۴ تنظیم شرایط پایش و الزامات عیب‌یابی

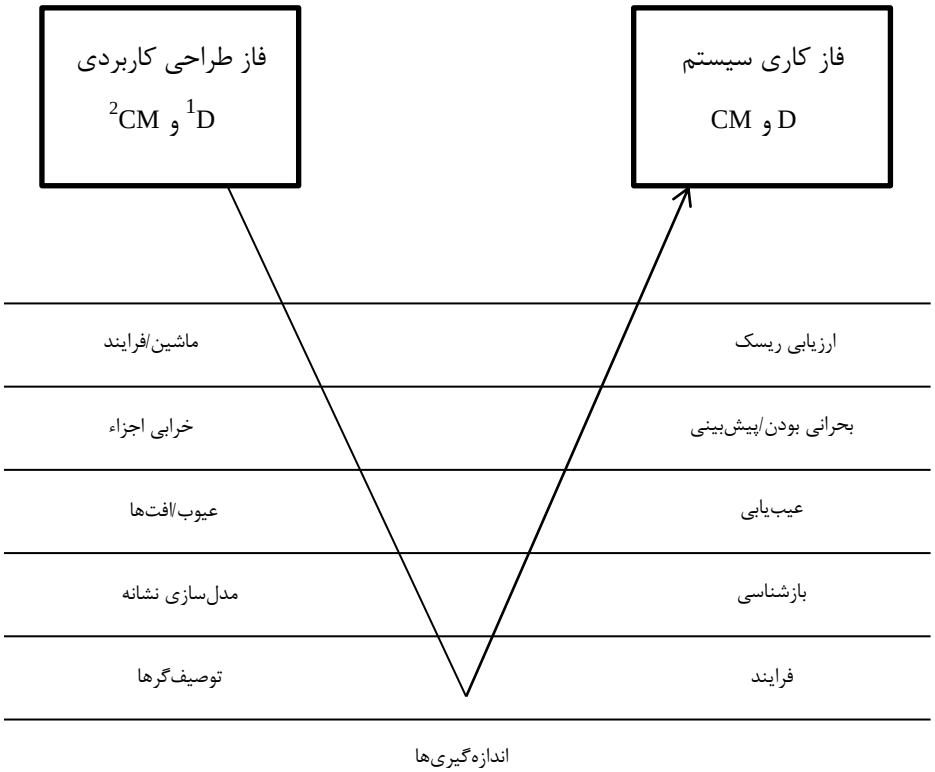
۴-۱ نقش عیب‌یابی در عملیات و نگه‌داری

عیب‌یابی، نقش ضروری در تصمیم‌گیری برای وظایف عملیاتی و نگه‌داری دارد. برای تاثیرگذاری، توصیه می‌شود، روش‌های عیب‌یابی مطابق عیب‌هایی که می‌توانند در ماشین رخ دهند، تنظیم شوند. بنابراین، اکیدا توصیه می‌شود که مطالعهٔ مقدماتی هنگام آماده‌سازی الزامات پایش وضعیت و سیستم عیب‌یابی ماشین انجام شود.

۴-۲ استقرار نیازهای عیب‌یابی

هدف این مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل V عمداً انتخاب شده است تا ملاحظات سطح بالا (نگه‌داری: ماشین، ارزیابی ریسک) و ملاحظات سطح پایین (اندازه‌گیری‌ها: پایش، آزمون‌های دوره‌ای، پردازش داده) را نشان دهد.

شاخه سمت چپ مربوط به مطالعات مقدماتی می‌باشد که برای یک ماشین خاص، داده‌های ضروری برای پایش وضعیت و عیب‌یابی تهیه شده است. شاخه سمت راست طرح مربوط به فعالیت‌های پایش وضعیت و عیب‌یابی می‌باشد که به طور معمول بعد از راه‌اندازی ماشین، تعهد می‌شود. هر لایه شامل فاز طراحی مقدماتی (چپ) و فاز کاربردی (راست) است.



1- Diagnostics
2- Condition Monitoring

شکل ۱ – چرخه (CM و D) پایش وضعیت و عیب‌یابی: طراحی و استفادهٔ کاربردی ماشین

گام‌های کلی مطالعهٔ عیب‌یابی شامل موارد زیر است:

الف- تحلیل دسترسی ماشین، قابلیت نگه‌داری، بحرانیت با توجه به کل فرآیندها؛

ب- فهرست اجزای اصلی و کارکرد آن‌ها؛

پ- تحلیل مُدهای خرابی و علت آنها به عنوان عیوب قطعات؛

ت- بیان بحرانی‌بودن، با احتساب اهمیت (ایمنی، دسترسی، هزینه نگه‌داری، کیفیت محصول) و وقوع؛

ث- تصمیم‌گیری برای این که توصیه می‌شود کدام عیب‌ها توسط عیب‌یابی تحت پوشش قرار گیرند (قابلیت عیب‌یابی)

ج- تحلیل تحت شرایط عملیاتی، که عیوب مختلف می‌توانند به خوبی مشاهده شوند و تعریف شرایط مرجع؛

چ- بیان نشانه‌هایی که می‌توانند در تشخیص وضعیت ماشین به کار روند و نشانه‌هایی که برای عیب‌یابی استفاده می‌شوند؛

ح- فهرست توصیفاتی که برای ارزیابی (تشخیص) نشانه‌های مختلف به کار می‌رود؛

خ- شناسایی اندازه‌گیری‌های مورد نیاز و ترانسدیوسرها[1] از مواردی که از توصیف‌گرها به دست‌آمده یا محاسبه شده‌اند.

1 - Transducers

ممکن است مراحل ارائه‌شده در بندهای الف، ب، پ و ت با استفاده از بهینه‌سازی نگه‌داری همچون FMEA[1] (مُدهای خرابی و تحلیل تأثیر آنها) یا FMECA[2] (مُدهای خرابی و تحلیل تأثیرات بحرانیت آن‌ها) دنبال شوند. مراحل ارائه شده هم‌چنین ممکن است با فرآیندهای کلی‌تر بهینه‌سازی نگه‌داری مثل RCM[3] انجام شوند (نگه‌داری برمبنای قابلیت اطمینان).

یادآوری- روش‌های FMEA و FMECA در استاندارد IEC 60812 ذکر شده‌اند.

مراحل ارائه‌شده در بندهای پ، ت، ث، ج، چ، ح و خ ممکن است با استفاده از روش‌شناسی FMSA[4] (تحلیل نشانه‌های مُد خرابی) که در بند ۴-۳ توضیح داده‌شده، پیروی شوند.

۴-۳ تحلیل نشانه‌های مُد خرابی

۴-۳-۱ فرآیند تحلیل نشانه‌های مُد خرابی

هدف از این فرآیند انتخاب فناوری‌ها و راهبردهای پایشی است که سطح اطمینان را در تشخیص و پیش‌بینی هر مُد خرابی داده‌شده، بیشینه کند.

این روش‌شناسی برای کمک به انتخاب فنون پایش طراحی شده است که بیشترین حساسیت برای تشخیص و نرخ تغییر نشانهٔ داده‌شده دارند. زمانی که اطمینان در مورد حساسیت فنون و درستی عیب‌شناسی/پیش‌بینی نتیجه، مشکوک است، استفاده از فنون اضافی برای ارتباط بیشتر توصیه می‌شود.

این فرآیند اساسا یک اصلاح برای فرآیند FMECA با تمرکز بر روی نشانه‌های تولیدی با هر مُد خرابی تشخیص داده‌شده و انتخاب بعدی مناسب‌ترین تشخیص و فنون و راهبردهای پایش است.

توصیه می‌شود، این ابزار در ارتباط با تحلیل FMECA موجود که پیش از این مُدهای امکان‌پذیر خرابی را تشخیص‌داده و دسته‌بندی کرده است، به کار روند.

۴-۳-۲ راهنمایی برای استفاده

این فرآیند به وسیله جدول الف۱ به خوبی نشان داده شده است. بندهای ضروری به صورت زیر هستند:

- فهرست اجزاء درگیر؛
- فهرست مُدهای خرابی ممکن برای هر جزء؛
- فهرست تأثیرات هر مُد خرابی؛
- فهرست عوامل هر مُد خرابی؛
- فهرست نشانه‌هایی که به وسیله هر مُد خرابی تولید شده‌اند؛
- فهرست مناسب‌ترین فنون پایش؛

1 - Failure Modes and Effects Analysis
2 - Failure Modes, their Effects and Criticality Analysis
3 - Reliability-Centred Maintenance
4 - Failure Mode Symptoms Analysis

- فهرست فرکانس تخمین‌زدهٔ پایش؛
- دسته‌بندی هر مُد خرابی به وسیله تشخیص، شدت، اطمینان عیب‌شناسی و اطمینان پیش‌بینی که منجر به تعداد تقدم پایش[1] (MPN) می‌شود؛
- فهرست مناسب‌ترین فنون ارتباط؛
- فهرست فرکانس پایش برای فنون ارتباط.

بزرگ‌ترین مشکل، در استقرار اصطلاحات صحیح مُد خرابی، تأثیر و علت به وجود می‌آید. مُد خرابی، تعریفی برای چگونگی خرابی مشاهده شده است، به عنوان مثال، خمیدگی، خوردگی و غیره. در فرآیندهای FMECA که توصیه می‌شود، پیش از فرآیندهای FMSA انجام شوند، مناطق هم‌پوشانی بین اصطلاحات استفاده شده برای مُدهای خرابی، تأثیرات و علل وجود دارند. یک بند ممکن است هنگام ملاحظه یک جزء به عنوان علت خرابی در یک خط و به عنوان مُد خرابی در دیگری پدیدار شود. یک اصطلاح ممکن است به عنوان تأثیر در یک خط هنگام مواجهه با یک جزء و به عنوان مُد خرابی هنگام مواجهه با یک مونتاژ پدیدار شود. این پدیده همچنین برای فرآیندهای FMSA نیز صادق است.

باید دقت شود از تکرار مُد خرابی و علت آن بر روی همان خط اجتناب شود. برای هر یک از بندها، مُد خرابی، تأثیر، و علت باید به صورت منطقی در سراسر صفحه خوانده شود. این امر می‌تواند برای استفاده شکل‌های زیر کمک کند:

- مُد خرابی می‌تواند منجر به تأثیر وابسته به علت شود.

هنگام ملاحظه راهبردهای پایش، روش‌های زیر نیز می‌توانند به کار روند:

- مُد خرابی نشانه‌ها را تولید می‌کند، که به بهترین وجه توسط یک تکنیک پایش اولیه، زمانی که در یک فرکانس پایش داده‌شده، پایش می‌شود منجر به اطمینان پیش‌بینی و عیب‌شناسی بزرگ می‌شود، قابل تشخیص‌اند؛
- اطمینان پیش‌بینی و عیب‌شناسی افزایش یافته می‌تواند با استفاده از "فنون ارتباط" زمانی که در یک "فرکانس پایش" داده شده پایش می‌شود، به دست آید.

۴-۳-۳ راهنمایی برای رتبه‌بندی

۴-۳-۳-۱ کلیات

رتبه‌بندی که احتمال تشخیص، درستی پیش‌بینی و درجه شدت را تخمین می‌زند، برای هر ستون تعیین می‌شود، مشروط بر این که کاربر رتبه‌بندی سازگاری را در تمام تحلیل‌ها به کار برد، طبقه‌های ریسک بالاتر، MPN بالاتر را نمایش می‌دهند.

1 - Monitoring priority number

۴-۳-۳-۲ رتبه‌بندی تشخیص (DET[1])

احتمال تشخیص از ۱ تا ۵ رتبه‌بندی می‌شود و برای نمایش قابلیت تشخیص کلی یک مُد خرابی بدون توجه به درستی پس از عیب‌شناسی یا پیش‌بینی طراحی می‌شود. این رتبه‌بندی برای مُدهای خرابی مشخص شده در زیر، طراحی می‌شود:

- نشانه‌هایی را تولید می‌کنند که قابل تشخیص اما غیر قابل تکرارند؛
- نشانه‌هایی را تولید می‌کنند که غیر قابل تشخیص‌اند؛
- نشانه‌هایی را تولید می‌کنند که در عمل قابل اندازه‌گیری نیستند؛ یا
- نشانه‌هایی را تولید می‌کنند که ممکن است با سایر نشانه‌های مُد خرابی پوشانده شوند.

این امر با مقیاس ۱ تا ۵، به صورت زیر برآورد می‌شود:

- ۱ به معنی این که "احتمال بعید[2] وجود دارد که این مُد خرابی تشخیص داده شود"؛
- ۲ به معنی این که "احتمال کم[3] وجود دارد که این مُد خرابی تشخیص داده شود"؛
- ۳ به معنی این که "احتمال متوسط[4] وجود دارد که این مُد خرابی تشخیص داده شود"؛
- ۴ به معنی این که "احتمال زیادی[5] وجود دارد که این مُد خرابی تشخیص داده شود"؛
- ۵ به معنی این که "کاملاً قطعی[6] است که این مُد خرابی تشخیص داده شود".

۴-۳-۳-۳ شدت خرابی (SEV)[7]

این رده‌بندی باید هر تحلیل FMECA قبلی را نشان دهد و طوری طراحی شود که مُدهای خرابی منفرد توسط ریسک را رده‌بندی کند. این امر با مقیاس ۱ تا ۴، به صورت زیر برآورد می‌شود:

- ۱ به این معنی که "هر رویدادی که بتواند باعث افت عملکرد کارکرد سیستم شود و منجر به خسارت ناچیز هم به سیستم و هم محیطش شود، و هیچ آسیبی به اندام‌ها یا جان افراد وارد نکند".
- ۲ به این معنی که "هر رویدادی که باعث افت عملکرد کارکرد سیستم، بدون آسیب محسوس هم به سامانه و هم به اندام‌ها یا جان افراد شود".
- ۳ به این معنی که "هر رویدادی که بتواند به صورت بالقوه باعث افت کارکرد اولیهٔ سیستم شود و منجر به آسیب جدی به سیستم یا محیط آن شده و خطر ناچیزی برای اندام‌ها یا جان افراد داشته باشد".
- ۴ به این معنی که "هر رویدادی که بتواند به صورت بالقوه باعث افت کارکرد اولیهٔ سیستم شود که منجر به آسیب جدی به سیستم یا محیط آن، و/یا صدمه اندام‌ها یا جان افراد شود".

۴-۳-۳-۴ اطمینان عیب‌شناسی (DGN)[1]

---

1 - Rating DETection
2 - REMOTE LIKELIHOOD
3 - LOW LIKELIHOOD
4 - MODERATE LIKELIHOOD
5 - HIGH LIKELIHOOD
6 - VIRTUALLY CERTAIN
7 - SEVerity of failure

درستی پیش‌بینی‌شدهٔ عیب‌شناسی هم از ۱ تا ۵ رتبه‌بندی می‌شود. این رتبه‌بندی برای شناسایی مُدهای خرابی از طریق نشانه‌های زیر طراحی می‌شود:

- نشانه‌های قابل تشخیص، اما غیر قابل تکرار؛
- نشانه‌های ناشناخته؛ یا
- نشانه‌هایی که از سایر نشانه‌های مُد خرابی قابل تشخیص نیستند.

این امر با مقیاس ۱ تا ۵، به صورت زیر برآورد می‌شود:

- ۱ به این معنی که "احتمال بعیدی وجود دارد که این عیب‌شناسی مُد خرابی درست باشد".
- ۲ به این معنی که "احتمال کمی وجود دارد که این عیب‌شناسی مُد خرابی درست باشد".
- ۳ به این معنی که "احتمال متوسطی وجود دارد که این عیب‌شناسی مُد خرابی درست باشد".
- ۴ به این معنی که "احتمال زیادی وجود دارد که این عیب‌شناسی مُد خرابی درست باشد".
- ۵ به این معنی که "کاملاً قطعی است که این عیب‌شناسی مُد خرابی درست باشد".

۴-۳-۳-۵ اطمینان پیش‌بینی (PGN)[۲]

درستی پیش‌بینی هم از ۱ تا ۵ رتبه‌بندی می‌شود. این رتبه‌بندی برای شناسایی مُدهای خرابی از طریق نشانه‌های زیر طراحی می‌شود:

- نشانه‌های قابل تشخیص، اما غیر قابل تکرار؛
- نشانه‌هایی که محسوس نیستند تا افت را تغییر دهند؛
- نرخ خرابی ناشناخته؛ یا
- نشانه‌هایی که از سایر نشانه‌های مُد خرابی قابل تشخیص نیستند.

این امر با مقیاس ۱ تا ۵، به صورت زیر برآورد می‌شود:

- ۱ به این معنی که "احتمال بعیدی وجود دارد که این پیش‌بینی مُد خرابی درست باشد".
- ۲ به این معنی که "احتمال کمی وجود دارد که این پیش‌بینی مُد خرابی درست باشد".
- ۳ به این معنی که "احتمال متوسطی وجود دارد که این پیش‌بینی مُد خرابی درست باشد".
- ۴ به این معنی که "احتمال زیادی وجود دارد که این پیش‌بینی مُد خرابی درست باشد".
- ۵ به این معنی که "کاملاً قطعی است که این پیش‌بینی مُد خرابی درست باشد".

فراوانی پایش هم در تعیین درستی پیش‌بینی مورد انتظار تأثیر دارد یعنی هرچه فراوانی بزرگ‌تری استفاده شود، اطمینان بالاتری در آهنگ خرابی مورد انتظار و پیش‌بینی حاصل می‌شود.

۴-۳-۳-۶ عدد اولویت پایش (MPN)[۳]

رتبه‌بندی، ضرب چهار رتبهٔ قبلی است و منجر به یک رتبه‌بندی کلی هر مُد خرابی می‌شود.

---

1 - Diagnosis confidence
2 - Prognosis confidence
3 - Monitoring priority number

مقدار بزرگ MPN نشان می‌دهد که فنون تعیین‌شده برای یافتن، عیب‌شناسی و پیش‌بینی مُد خرابی مرتبط، مناسب‌ترین می‌باشند.
لازم به یادآوری است که یک مقدار کوچک MPN دلیل بر این نیست که پایش لازم نیست اما تا اندازه‌ای سطح اطمینانی پایین برای تشخیص، تحلیل، و پیش‌بینی با تکنیک و فرکانس پایش اسمی، می‌توان انتظار داشت.
مطلوب‌ترین مُد، مُد خرابی با حساسیت بالا، قابلیت تشخیص پایین، اطمینان کم عیب‌شناسی و اطمینان کم پیش‌بینی است.
مطلوب‌ترین حالت، یک مُد خرابی با حساسیت کم، قابلیت تشخیص بالا، با مُدهای خرابی و الگوهای مرتبط شناخته شده و بنابراین، سطح اطمینان عیب‌شناسی و پیش‌بینی بالا می‌باشد.
توصیه می‌شود، بازبینی FMSA و طراحی سیستم پایش با ملاحظات زیر انجام شود:

- ریسک ایمنی هر مُد خرابی؛
- نرخ مورد انتظار تخریب هر مُد خرابی؛
- زمان متوسط بین خرابی‌ها (MTBF) برای هر مُد خرابی؛
- مُدهای خرابی ثانویه/بعدی؛
- رابطهٔ متقابل مُدهای خرابی؛
- زمان ترجیحی مورد نیاز نگهداری؛
- در دسترس بون لوازم یدکی؛
- قابلیت اطمینان و در دسترس‌پذیری مورد نیاز.

ارزیابی مجدد پیوسته هنگامی که یک نصب جدید حاصل شده است یا هنگامی که یک اصلاح انجام پذیرفته است، باید انجام شود.

۴-۴ گزارش الزامات عیب‌یابی

بهتر است حاصل مطالعه مقدماتی در گزارش الزامات عیب‌یابی ذخیره شود. توصیه می‌شود این گزارش شامل موارد زیر باشد:

الف- خرابی اتخاذ شده ماشین به اجزاء را نشان دهد؛
ب- عیوب مرتبط با این اجزاء را فهرست کند؛
پ- نشانه‌های قابل مشاهده بالقوه برای هر عیب ارائه دهد؛
ت- توصیفات پایش وضعیت که استفاده می‌شوند را نام‌گذاری کند؛ و
ث- روش و پارامترهای به کار رفته برای محاسبهٔ توصیف‌گر را نشان دهد.

ممکن است حالتی به وجود آید که عیوب بحرانی به وسیلهٔ پایش وضعیت، تحت پوشش قرار نگیرند، همین‌چنین، قابل عیب‌یابی نباشند. به همین دلیل عیب هایی که عنوان می‌شوند و آن‌هایی که به روشنی در

گزارش مورد تأکید قرار نمی‌گیرند، اکیدا توصیه می‌شوند. این امر ممکن است مربوط به استفاده از ارزیابی مجدد مقدار افزایش توانایی کشف عیوب خاص باشد.

گزارش الزامات عیب‌یابی به طور رسمی می‌تواند از دو قسمت تشکیل شود:

۱) توصیف ماشین [متناظر با بندهای الف تا ب زیربند ۴-۲]: شناسایی، نقش آن در فرآیند، اجزاء، تحلیل بحرانیت؛

۲) تحلیل مُد/نشانهٔ خرابی [متناظر با بندهای پ تا خ فهرست شده در زیربند ۴-۲]: مُدهای خرابی، نشانه‌ها، توصیف‌گرها و اندازه‌گیری‌هایی که برای عیب‌یابی به کار می‌روند.

بند ب ممکن است با نمودار FMSA ارائه شده در پیوست الف به آسانی درک شود.

هم‌چنین توصیه می‌شود که تأثیر تئوری سیستم عیب‌یابی محاسبه شود. برای این کار، پیشنهادی برای یک معیار برای تأثیر یک سیستم عیب‌یابی در پیوست ب ارائه می‌شود.

۵ اجزای به کار رفته برای عیب‌یابی

۵-۱ داده‌های پایش وضعیت

۵-۱-۱ اندازه‌گیری‌ها

تمام اندازه‌گیری‌های به کار رفته برای پایش وضعیت به طور کلی برای عیب‌یابی مناسب هستند. توصیف‌گرها نسبت به اندازه‌گیری‌های خام برای عیب‌یابی، ارجحیت دارند چون آن‌ها انتخاب‌پذیری بیشتری نسبت به عیوب ارائه می‌کنند.

جدول ۱، به عنوان یک مثال، یک مجموعه اندازه‌گیری و پارامترهای مختلف به کار رفته برای پایش وضعیت و عیب‌یابی یک ماشین را، نشان می‌دهد.

جدول ۱ - مثالی از اندازه‌گیری‌ها و پارامترهای به کار رفته برای عیب‌یابی

عملکرد	مکانیکی	الکتریکی	آنالیز روغن، کیفیت محصول و غیره
مصرف توان	انبساط حرارتی	جریان	آنالیز روغن
کارایی	موقعیت	ولتاژ	تحلیل آثار سایش پسماندی
دما	سطح سیالیت	مقاومت	ابعاد محصول
فشار	دما	القاء	خصوصیات فیزیکی محصول
دمانگاری IR	جابجایی ارتعاشی	دمانگاری IR	خصوصیات شیمیایی محصول
جریان	دمانگاری IR	ظرفیت	- رنگ
	سرعت ارتعاش	میدان مغناطیسی	- شکل ظاهری
	شتاب ارتعاش	مقاومت عایق	- بو
	نوفهٔ قابل شنیدن	تخلیهٔ جزئی	- سایر آزمون‌های غیرمخرب

۵-۱-۲ توصیف‌گرها

توصیف‌گرها می‌توانند از سیستم پایش وضعیت، یا به صورت مستقیم یا پس از پردازش اندازه‌گیری‌ها به دست آیند. توصیف‌گرها معمولاً نسبت به اندازه‌گیری‌ها به دلیل قابلیت انتخاب، ارجحیت دارند. هرچه توصیف‌گرها انتخابی‌تر باشند، نشانه‌ها انتخابی‌تر می‌شوند و بنابراین، عیب‌شناسی آسان‌تر می‌شود. قابلیت انتخاب توصیف‌گر، تعداد فرض‌های معیوب‌بودن را که از نشانه‌های عیب نتیجه می‌شوند، کاهش می‌دهد.

مثال- دامنهٔ اولین هارمونی جابه‌جایی ارتعاش شفت، بیشینه ضریب شتاب ارتعاش، عدد اسیدی کل روغن، سرعت چرخشی، عامل آسیب عنصر غلتشی یاتاقان، گرادیان دمایی بر روی اثر دمانگاری منتجه.

۵-۱-۳ نشانه‌ها

یک نشانه می‌تواند با اصطلاحات زیر بیان شود:

الف- مشخصه‌های زمان: ثابت زمانی تکامل توصیف‌گر؛

مثال- ۱ ساعت؛ ۱۰ روز؛ آهسته.

ب- نوع تکامل و تغییر بزرگی؛

مثال- حضور؛ غیاب؛ افزایش منظم؛ کاهش؛ پایداری؛ بزرگ‌تر از ۱۰ و کوچک‌تر از ۲۰۰؛ تکامل چرخه‌ای ۴۰ µm

پ- توصیف‌گر: توصیف‌گر به کار رفته؛

مثال- دما؛ هارمونی اول جابجایی ارتعاش.

ت- محل: جایی که نشانه در ماشین مشاهده می‌شود؛

مثال- خط محور در یاتاقان شماره ۳ جهت عمودی؛ پایهٔ یاتاقان شماره ۴؛ بدنه فشار بالا (مقابل چپ)؛ یاتاقان شماره ۲

ث- شرایط عملکردی که در آن نشانه مشاهده می‌شود.

مثال- در طی تقطیر؛ در طی ۱ ساعت پس از شروع خنک شدن؛ در ٪۱۰۰ توان؛ هر شرایط محیطی.

هنگام آماده‌سازی انتخاب نشانه‌ها برای یک عیب، باید توجه شود که از گرفتن دو یا چند نشانه که ممکن است خیلی وابسته باشند، اجتناب شود، چرا که ارزیابی نشانه‌های وابسته اطلاعات بیشتری نمی‌دهد و بنابراین، امکان پیشرفت عیب‌شناسی را نمی‌دهد.

مثال- تکامل منظم و آهسته بردار هارمونی اول جابجایی شفت؛ دمای یاتاقان ۱۰°C بالاتر از مقدار معمول در وضعیت اسمی؛ یک تغییر لحظه‌ای ۲ mm/s در سرعت ارتعاش پایه؛ تکامل چرخه‌ای هارمونی اول جابجایی ارتعاش (۱۰ µm<، پس از یک تغییر در توان دریافتی به وسیله ماشین)؛ صدای نامعمول؛ رنگ تیره روغن روان‌کننده.

۵-۱-۴ نقص

نقص می‌تواند با اصطلاحات زیر بیان شود:

الف- ماشین: نام یا معرف ماشین؛

مثال‌ها- واحد شماره ۱ توربین؛ دیگ بخار تغذیه‌کننده پمپ آب شماره ۲؛ BFW PU2؛ پمپ گردشی؛ زغال‌شکن شماره ۵.

ب- اجزاء: نام یا معرف جزء ماشین بر روی قسمتی که نقص اتفاق افتاده؛

مثال‌ها- یاتاقان شماره ۳؛ شفت؛ پیستون؛ بدنه فشار پایین؛ آب‌بند شماره ۲.

پ- نوع افت اجزاء ماشین (اجباری)؛

مثال‌ها- لقی نادرست؛ خرابی؛ نامتوازنی؛ ناهم‌راستایی؛ دهانه اتصال.

ت- شدت: عدد صحیح برای مثال (تعریف شده در زیربند ۴-۳-۳-۳) نمایشگر دامنهٔ افت یا مُد خرابی.

۵-۱-۵ پارامترهای عملیاتی

پارامترهای عملیاتی اغلب برای عیب‌یابی به کار می‌روند. این پارامترها برای هر دو مورد زیر استفاده می‌شوند:

- استقرار برخی توصیف‌گرها؛ و
- استقرار وضعیت‌های عملیاتی که در آنها نشانه‌ها پدیدار می‌شوند (شرایط محیط).

هنگام در نظر گرفتن پارامترهای عملی باید توجه شود. زمانی که پارامتر توصیف‌گر است یا در محاسبهٔ توصیف‌گر وارد می‌شود، پارامتر یک خروجی است. پارامتر زمانی که شرایط عملی را توصیف می‌کند، یک ورودی است. بهتر است، این نکته در نظر گرفته شود که از به کار بردن شرایط عملی به عنوان توصیف‌گر اجتناب شود. برای مثال، دمای بدنه توربین، زمان پایش و عیب‌یابی بدنه، یک توصیف‌گر است. همان دما، زمان پایش یاتاقان که بر روی کار یاتاقان تأثیر دارد، شرایط عملی می‌شود، اما بیان‌گر نقص‌های یاتاقان نیست.

۵-۲ داده‌های ماشین

دانستن داده‌های خاص دربارهٔ ماشین اغلب برای عیب‌یابی ضروری است. برای مثال حالت‌های زیر:

- برای ارتعاش - اطلاعات مربوط به سینماتیک اجزاء ماشین هم‌چون سرعت‌های چرخشی، تعداد دندانه بر روی چرخ‌دنده، فرکانس‌های مشخصهٔ بلبرینگ؛
- برای آنالیز روغن – داده‌های مربوط به مسیر روغن در ماشین، جریان، ترکیب فلز، طرز قرارگیری و نرمی فیلترها؛
- برای دمانگاری - قابلیت نشر IR یک سطح.

توصیه می‌شود، بین داده‌های مربوط به فنون به کار رفته برای پردازش توصیف‌گرها و داده‌های مربوط به شکل ماشین تمایز قائل شود. برای عیب‌یابی مهم است که هر دو ثبت شوند. اطلاعات مربوط به شکل ماشین

معمولاً در فایل ماشین ثبت می‌شوند، زیرا ثبت داده‌های ماشین نسبت به فنون پایش وضعیت در طی الزامات عیب‌یابی، هنگام تعیین توصیف‌گرها، ارجحیت دارد.

۵-۳ تاریخچهٔ ماشین

وقوع نقص می‌تواند تنها به عملیات مربوط نباشد و مربوط به نگه‌داری ماشین نیز باشد. ممکن است یک نقص در طی یک تعمیر اساسی یا یک موقعیت خاص ایجاد شود. بنابراین، ثبت تاریخ نقص، تاریخ عملیات و تاریخ نگه‌داری ماشین مهم است، تا برای عیب‌یابی در نظر گرفته شوند.

۶ رویکردهای عیب‌یابی

۶-۱ دو نوع از رویکردها

فرآیندهای عیب‌شناسی عموماً به وسیله یافتن یک اتفاق غیر عادی در طی پایش روزمره، تحلیل روزمره، تحلیل تصادفی یا درک انسانی، انجام می‌شود. این تشخیص با مقایسهٔ بین توصیف‌گرهای حاضر یک ماشین و مقادیر مرجع (عموماً مقادیر یا داده‌های خط مبنا گفته می‌شود) انجام می‌گیرد، که از تجربه، مشخصه‌های سازنده، آزمون‌های انجام شده یا محاسبه داده‌های آماری (برای مثال میانگین در درازمدت) انتخاب شده‌اند.
توصیه می‌شود، زمانی که هیچ نقصی وجود ندارد، نتیجهٔ ممکن هر فرآیند عیب‌یابی شامل یک سناریو[1] باشد.
دو رویکرد کلی می‌تواند برای وضعیت ماشین به کار رود:
الف- رویکرد داده‌محور (روش ساده، شبکهٔ عصبی، شناسایی الگو، آماری، رویکرد پارِتویی[2] هیستوگرافیک یا رویکردهای عددی دیگر). این روش‌ها عموماً خودکارند، نیازی به دانش عمیق درباره مکانیزم شروع و انتشار نقص ندارند، اما نیاز به آموزش الگوریتمی دارند که مجموعهٔ زیادی از داده‌های نقص مشاهده‌شده را به کار می‌برند.

ب- رویکرد دانش‌محور، که بر مبنای یک نمایش صریح رفتار یا نشانه‌های نقص برای مثال از طریق مدل‌های نقص، مدل‌های رفتار صحیح یا توصیف حالت، می‌باشد.

می‌توان دریافت که این روش‌ها ممکن است هم‌پوشانی داشته باشند و راه‌حل‌ها ممکن است گسترش داده شوند به طوری که ترکیبی از چند رویکرد استفاده شود.

باید یادآوری کرد که برای تحلیل تمام فرآیندهای مدل‌سازی با هدف عیب‌شناسی، تعریف "**مشخصهٔ مشاهده**" هم مورد نیاز است. این مشخصه می‌تواند روشی فراهم کند که مشاهدهٔ حاصل از داده‌های به دست آمده را تعریف و تفسیر کند. سطوح مختلفی از جزئیات ممکن است مورد نیاز باشد: برای مثال چگونه مدل مشاهده بهتر است توصیف تکامل، شکل، داده‌های مربوط به زمان، مرتبه، و ارتباط پارامتر را مدیریت کند.

---

1 - Scenario
2 - Pareto

تفاوت مدل‌های به کار برده شده در بندهای ۶-۲ تا ۶-۴ بیان می‌شوند.

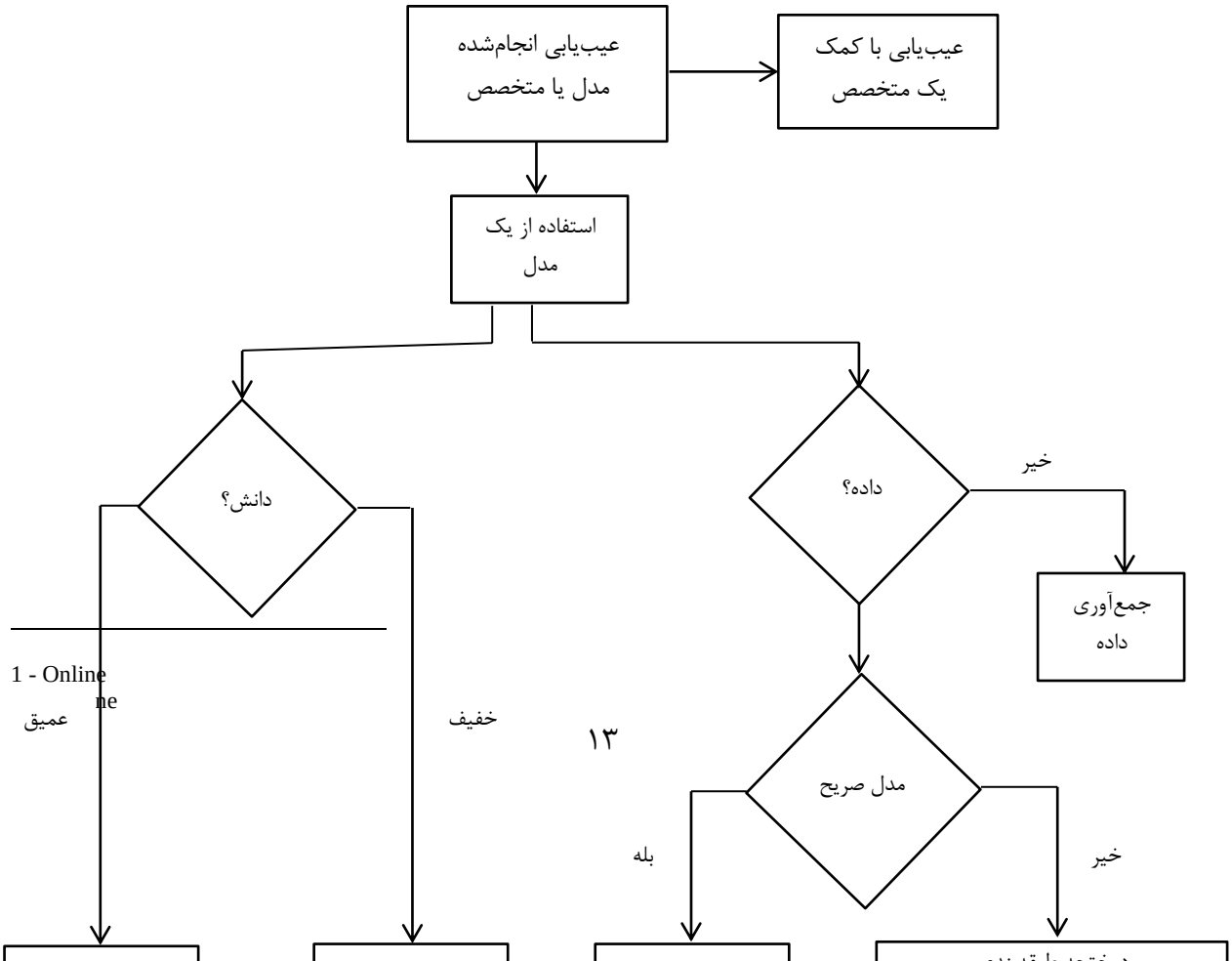
۶-۲ راهنمایی‌های عمومی برای انتخاب رویکردهای عیب‌یابی مناسب

انتخاب رویکردهای عیب‌یابی مناسب (به شکل ۲ رجوع شود) بستگی به موارد زیر دارد:

- کاربرد یا تجهیزات؛
- کاربر نهایی رویکرد عیب‌یابی؛
- فن پایش؛
- پیچیدگی دانش مدل‌سازی شده؛
- نیاز برای داشتن یک مدل توضیحی؛
- نیاز به آموزش مجدد مدل؛
- دسترس‌پذیری داده‌های موجود با نقص‌های شناخته‌شده و عملیات عادی.

یادآوری- بسیار مهم است که در طراحی اولیه ملاحظه شود چطور فرآیندهای عیب‌یابی نقص برخط[1] و غیربرخط[2] با احتساب توانایی نرم‌افزار و سخت‌افزار از هم جدا شوند. چنان‌چه پیشتر نیز تعریف شد، بسیار مهم است که ملاحظه شود این فرآیندها چطور ترکیب می‌شوند.

برخی راهنمایی‌های اضافی در پیوست پ و ت ارائه شده است.



شکل ۲ - رویکرد کلی انتخاب یک مدل عیب‌یابی

۶-۳ رویکردهای داده‌محور

۶-۳-۱ فهرست روش‌ها

این بند چندین رویکرد داده- محور را نشان می‌دهد:

- تحلیل داده‌های آماری و استدلال حالت محور؛
- شبکه‌های عصبی؛
- درخت‌های رده‌بندی[1]؛
- راندوم فارست (RF)[2]؛
- رگرسیون منطقی (LR)[3]؛ و
- ماشین‌های بردار پشتیبان (SVM)[4].

توجه کنید که برای رویکردهای داده-محور جایگزین زیادی وجود دارد؛ این موارد صرفاً مثال‌هایی از موارد مرسوم می‌باشد.

اصل اساسی نهفته در همه رویکردهای داده محور، استفاده از یک مدل برای طبقه‌بندی وضعیت‌های عملی مختلف یک ماشین، عادی، نقص یک، نقص دو و غیره می‌باشد. این امر با آموزش اولیه مدل بر روی داده‌های ثبت شده قبلی از هر وضعیت، و سپس تغذیه داده‌های جدید مدل برای طبقه‌بندی انجام می‌شود.

---

1 - Classification trees
2 - Random forests
3 - Logistic regression
4 - Support vector machines

نقاط ضعف و قوت مرسوم برای همه رویکردهای داده-محور ابتدا تعریف می‌شوند. سپس برای هر رویکرد، پاراگراف‌های زیر، در موقع لزوم، اصول، برخی راهنمایی‌ها برای ساختن مدل و نقاط ضعیف و قوت خاص را شرح می‌دهند.

۶-۳-۲ ضعف‌ها و قوت‌های رایج برای همه رویکردهای داده-محور

در مقایسه با رویکرد عیب‌یابی دانش‌محور، روش‌های داده-محور مزایایی در رابطه با عدم نیاز به دانش عمیق درباره سیستم برای عیب‌یابی را دارا می‌باشند.
هم‌چنین، این روش‌هامحدودیتی برای متغیرهای مستقل ندارند. آن‌ها می‌توانند دوبخشی باشند (برای مثال روشن یا خاموش)، بدون شرط (به عنوان مثال حالت ماشین، مانند گرم‌کردن، عملیات عادی، بیشترین توان، درجا کار کردن[1]) یا پیوسته (به عنوان مثال دماها، فشارها و سرعت‌های حس‌شده)
این نوع مدل‌سازی شامل برخی اشکالات برای عیب‌یابی ماشین می‌باشد.
- آموزش، کالیبراسیون، و به صورت بالقوه فازهای تنظیم، قبل از به کارگیری مدل ضروری می‌باشند. ممکن است، تکرار این فازها لازم باشند. توصیه می‌شود، تجهیزات یا کاربرد آن‌ها به طور قابل توجهی ظاهر شوند یا هنگامی که با حالت‌های جدیدی مواجه می‌شوند.
- تعداد نسبتاً زیادی از نقص‌های مشخص و نمونه‌های بدون نقص برای ساختن مدل ضروری است.
- مدل، عیب‌شناسی توضیحی ایجاد نمی‌کند.
- مدل می‌تواند کاملاً از نظر محاسباتی برای آموزش مستعد باشد.

چند رویکرد (LR، شبکه عصبی، درخت رده‌بندی، RF و SVM) زمانی که فرمول‌بندی ریاضی وجود ندارند، اما به جای آن یک سری از مثال‌های به دست آمده از تجربه یا شبیه‌سازی وجود دارند، به خوبی به کار می‌روند (آزمون کیفیت "قابل قبول – غیر قابل قبول"، آزمون راکتور شیمیایی، و غیره)

۶-۳-۳ تحلیل داده‌های آماری و استدلال حالت‌بنیان

۶-۳-۳-۱ توصیف کلی

اصل بر این مبنا است که از شباهت بین یک موقعیت مشاهده و حالت‌هایی که تا به حال شناخته و حل شده‌اند، بهره‌برداری شود ("وضعیت حاضر تجهیزات شبیه حالت‌های دیگر است").
حالت ممکن است با استفاده از داده‌های مشاهده اساسی (یک یا چند بعدی، روش‌ها، الگوها وغیره) یا داده‌های پردازش‌شده (تجمعی بر روی نشانه‌ها) توصیف شود.
این رویکرد معمولاً یک حالت یا مجموعه‌ای از حالت‌ها را در پایگاه داده خیلی شبیه به حالتی که شخص می‌خواهد عیب‌یابی کند، تشخیص می‌دهد. این مدل‌ها به فاز یادگیری بر اساس بازخورد خوب، که برای گفتن چندین حالت خوب تعریف‌شده می‌باشد، نیاز دارند.

---

1 - Idle

۶-۳-۳-۲ ساخت مدل

اولین گام، شناسایی داده‌ها است که برای توصیف حالت استفاده خواهد شد.
دومین گام انتخاب نوع شباهت یا سنجش ارتباط (معمولاً مسافت نامیده می‌شود) و رده‌بندی مکانیزمی که شباهت بین حالت‌ها را پشتیبانی می‌کند.
نهایتا کالیبراسیون و تنظیم بالقوهٔ تکرارشونده مدل در طول دوره یادگیری در زمانی که حالت‌های شناخته شده به سیستم ارائه‌شده‌اند، روی می‌دهد.

۶-۳-۳-۳ نقاط ضعف و قوت ویژه

در مقایسه با سایر رویکردهای داده‌محور، این رویکرد به حالت‌هایی برای ساختار و توصیف خوب نیاز دارد.

۶-۳-۴ شبکه‌های عصبی

۶-۳-۴-۱ توصیف کلی

شبکه عصبی (با نام شبکه عصبی مصنوعی نیز شناخته می‌شود) یک مدل داده‌های آماری غیرخطی است، که می‌تواند برای مدل‌سازی روابط پیچیده به کار رود. شبکه‌های عصبی با پردازنده‌های بنیادی زیادی ارتباط دارند (نورون‌ها) که رفتار جمعی آن‌ها تابع داده شده را تقریب می‌زند.

۶-۳-۴-۲ ساخت مدل

شبکه عصبی باید فاز یادگیری را که با استفاده از آزمایش داده‌های عادی و ناقص و تغییر وزن داخلی مدل منطبق شده است، طی کند، چنان‌که خروجی مدل با حالت داده‌های ورودی مطابقت داشته باشد. زمانی که فرآیند یادگیری کامل شد، شبکه با تولید خروجی مربوط به حالت عملیاتی ماشین (مطابق با داده‌های یادگرفته‌شده) به عنوان یک جعبهٔ سیاه عمل می‌کند، به طوری که داده‌های جدید وارد می‌شوند.

۶-۳-۵ درخت رده‌بندی

۶-۳-۵-۱ توصیف کلی

درخت‌های رده‌بندی (مرجع [۹]) یک تکنیک بدون پارامتری را ایجاد می‌کنند که به طور بازگشتی تقسیم‌بندی داده‌ها را به زیرمجموعه‌های رده‌های بزرگ‌تر خلوص (عادی، نقص یک، نقص دو و غیره)، آزمایش همه متغیرها و همه انشعاب‌های ممکن در هر گره، و انتخاب بهترین متغیر منفرد و ارزش‌گذاری بر روی انشعابات را انجام می‌دهد. همه متغیرها، لزوماً برای تقسیم‌بندی داده‌ها استفاده نمی‌شوند، و تعدادی از متغیرها ممکن است چندین بار در گره‌های مختلف به کار روند.

رشد درخت‌ها تا ٪ ۱۰۰ خلوص گره‌ها، به طور طبیعی، داده‌های یادگیری را بیش از حد تطبیق خواهد کرد. برای اجتناب از این امر، صحه‌گذاری طبقه می‌تواند برای پاک کردن شاخه‌های پایینی درخت استفاده شود به طوری که رده‌بندی کننده به خوبی به داده‌های جدید تعمیم می‌دهد. این فرآیند به نام "هرس" شناخته می‌شود.

۶-۳-۵-۲ ساخت مدل

درخت‌رده‌بندی باید فاز یادگیری را طی کند، یعنی الگوریتم باید درخت را بسازد، عموماً با خلوص کامل، و سپس آن را برای عمق بهینه با استفاده از صحه‌گذاری طبقه پیرایش کند. به محض این‌که مراحل یادگیری و پیرایش کامل شد، داده‌های جدید برای پایش و عیب‌یابی از طریق درخت و رده‌بندی می‌تواند اجرا شود.

۶-۳-۶ راندوم فارست‌ها[1]

۶-۳-۶-۱ توصیف کلی

راندوم فارست (RF، مرجع[۷]) یک روش طبقه‌بندی غیرپارامتری است که پوششی برای تغییر درخت رده‌بندی به کار می‌برد. یک درخت رده‌بندی استاندارد به وسیله شکافتن داده‌ها در بهترین رویکرد ممکن در هر گره ساخته می‌شود. برای RF، فقط یک زیرمجموعه (همواره از مجموعه کامل انتخاب می‌شود) انتخابی تصادفی رویکرد، برای شکافتن هر گره قابل انتخاب است. علاوه براین، هر درخت منفرد بر روی یک نمونه خودراه‌انداز داده ها ساخته می‌شود. یک نمونه خودراه‌انداز از یک مجموعه داده‌های ویژه با انتخاب حالت‌ها با تعویض تصادفی ساخته می‌شود. هر نمونه خودراه‌انداز هم‌اندازه، اندکی با دیگری فرق خواهد داشت. با انتخاب تصادفی با جایگزینی از نمونه، برخی حالت‌ها بیش از یک بار در یک نمونه خودراه‌انداز اتفاق می‌افتد و برخی حالت‌ها هیچ‌گاه روی نمی‌دهد.

در پایان، در برابر درخت‌های رده‌بندی استاندارد، درخت‌های RF انفرادی پیرایش نمی‌شوند؛ به جای آن، آن‌ها نوعاً تا ٪ ۱۰۰ خلوص گره رشد داده می‌شوند. اگرچه صدها درخت ممکن است توسعه داده شود، RFها برای یادگیری بسیار سریع هستند (برای مثال بسیار سریع‌تر از شبکه‌های عصبی معمولی برای یک مجموعه داده های داده شده و پردازنده). پیشگویی‌ها به وسیله جمع کردن پیشگویی‌های مجموع (رأی اکثریت برای رده‌بندی) انجام می‌گیرد. راندوم فارست عموماً یک بهبود عملکرد اساسی بر روی رده‌بندی‌کننده درخت رده‌بندی انفرادی دارد.

۶-۳-۶-۲ ساخت مدل

یک نمونه خودراه‌انداز (یک نمونه، که با جانشینی رسم‌شده، با همان طول داده‌های اصلی) حالت‌ها از مجموعه کامل حالت‌ها انتخاب می‌شود. تعداد کمی از رویکردها (تقریباً جذر تعداد رویکردها) به طور تصادفی

1 - Random forests

از مجموعه کامل رویکردها انتخاب می‌شوند. بهترین نقطه شکاف منفرد و بهترین رویکرد منفرد برای تقسیم نمونه به دو یا چند گره خالص استفاده می‌شود. این انتخاب رویکرد و روش شکاف تا زمانی که تمام گره‌های برگ‌های درخت به ٪۱۰۰ خلوص برسند، ادامه می‌یابد. سپس یک نمونه خودراه‌انداز انتخاب می‌شود و یک درخت جدید برای آن نمونه ساخته می‌شود. برای رده‌بندی یک حالت، این کار از طریق هر درخت انجام می‌گیرد، و رأی‌های هر درخت شمرده می‌شود. این حالت به عنوان طبقه‌ای با بیشترین تعداد رأی طبقه‌بندی می‌شود.

۶-۳-۶-۳ نقاط قوت و ضعف خاص

در مقایسه با درخت رده‌بندی، یک امتیاز اساسی الگوریتم RF این است که یک تخمین از اهمیت متغیر به دست می‌دهد، که می‌تواند برای انتخاب متغیر به کار رود.
امتیاز اساسی دیگر این است که به خاطر روش پوششی، RF امتیاز قادر بودن برای استفاده از همه داده ها برای یادگیری را دارا می‌یاشد، یعنی، لازم نیست که داده‌ها را برای یک مجموعه آزمون برای صحه‌گذاری طبقه ذخیره کند و غیره.
امتیاز دیگر RF این است که، به جز در حالت‌های کمیاب، برخلاف خیلی از الگوریتم‌های رده‌بندی، RF نمی‌تواند بیش از حد آموزش داده شود. بلکه چنان که آموزش ادامه یابد، عملکرد در حوالی چند نرخ خطای کمینه نوسان می‌کند (به علت نوفه).
در پایان، در تفاوتی شدید با بسیاری از الگوریتم‌های رده‌بندی، RF تنها دو پارامتر برای تطبیق (تعداد درخت‌ها و تعداد متغیرها برای امتحان کردن در هر گره) دارد، و عملکرد RF خیلی به این پارامترها حساس نیست (یعنی، یک بهینه وجود دارد، اما عملکرد به آرامی تقلیل می‌یابد).

یک نقطهٔ ضعیف RF ، همانند بسیاری از رده‌بندی‌کننده‌های داده‌محور، جایی است که جعبه سیاه می‌باشد، یعنی، در یک حالت خاص داده شده، شرح چگونگی یک رده‌بندی خاص به دست آمده در طی امتحان مدل، کار آسانی نیست.

۶-۳-۷ رگرسیون منطقی (LR)[1]

۶-۳-۷-۱ توصیف کلی

رگرسیون منطقی (مرجع [۱۰]) ارتباط بین یک مجموعهٔ متغیرها x_i را به مقدار مورد انتظار $E(y_i)$، با تابع منطقی مدل می‌کند. مدل LR می‌تواند بدین شکل بیان شود:

$$E(y) = \frac{\exp(\alpha + \beta x)}{1 + \exp(\alpha + \beta x)} \qquad (۱)$$

1 - Logistic Regression

پس از یک تغییر شکل، بدین شکل درمی‌آید:

$$\ln\left[\frac{E(y)}{1-E(y)}\right] = \alpha + \beta x \qquad (۲)$$

به یاد داشته باشید که انتظار می‌رود داده های مستقل دوبخشی (صفر یا ۱) باشند، و این‌که خروجی مدل منطقی (میانگین شرطی مورد انتظار، $E(y_i)$) بین صفر و ۱ می‌باشد. یک آستانه مناسب باید انتخاب شود تا خروجی رگرسیون منطقی را به یک تصمیم باینری[1] تبدیل کند. به همین دلیل، در مُد نقص چندگانه، استفاده از یک سری از مدل‌ها ضروری است، معمولاً با یک مدل نظارتی رده‌بندی به رفتار عادی و غیرعادی و مجموع رده‌بندی مدل‌ها به نقص یک یا سایر نقص‌ها، نقص دو یا تمام سایر نقص‌ها و به همین ترتیب انجام می‌گیرد.

۶-۳-۷-۲ ساخت مدل

روش بیشترین احتمال معمولاً برای تخمین پارامترها در مدل LR به کار می‌رود. در عمل، هر بسته آماری خوب توانایی تولید یک مدل LR را دارد.

۶-۳-۷-۳ نقاط قوت و ضعف خاص

ضرایب مدل LR بینش برای اهمیت ساخت یک تغییر واحد در یک متغیر مستقل را فراهم می‌کند.
زمان انتخاب رویکردهای آموزش برای مدل LR باید احتیاط کرد. عموماً تعدادی از روش‌های انتخاب رویکرد صریح (برای مثال به کارگیری صحه‌گذاری طبقه) برای تنظیم بهینهٔ مدل ضروری است.

۶-۳-۸ ماشین‌های بردار پشتیبان

۶-۳-۸-۱ تعریف کلی

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (مرجع [۱۱]) به صورت غیرخطی داده‌های مشخصه‌ای ورودی را به یک مجموعه ابعادی بالاتر ترسیم می‌کند. سپس یک رده‌بندی‌کننده خطی در یک مجموعه ابعادی بالاتر برای جداسازی طبقه‌ها ساخته می‌شود. آن‌گاه SVM آموزش داده می‌شود، که برای ارزیابی حالات جدید بسیار کارآمد است.

۶-۳-۸-۲ ساخت مدل

روش‌های کاهش شیب معمولاً برای تخمین ضرایب در مدل SVM به کار می‌رود. در عمل، بسته‌های رایانه محور موجود بسیاری وجود دارند که مدل‌های SVM را می‌سازند.

---

1 - Binary

۶-۳-۸-۳ نقاط قوت و ضعف خاص

SVMها تنها یک حل برای یک مسألهٔ داده شده دارند (cf. شبکه‌های عصبی، که می‌توانند بهینه‌های محلی چندگانه داشته باشند). به علاوه، برخلاف شبکه‌های عصبی، پیچیدگی محاسباتی SVMها به ابعاد داده‌های ورودی بستگی ندارند.

بزرگ‌ترین اشکال برای SVMها این است که فقط برای مسائل دوبخشی قابل اجرا است. بنابراین، برای مسائل چندبخشی (برای مثال مسائل تجزیهٔ چندنقصی)، مسأله نیاز دارد تا به مسائل باینری چندگانه تقسیم شود.

۶-۴ رویکرد دانش‌محور

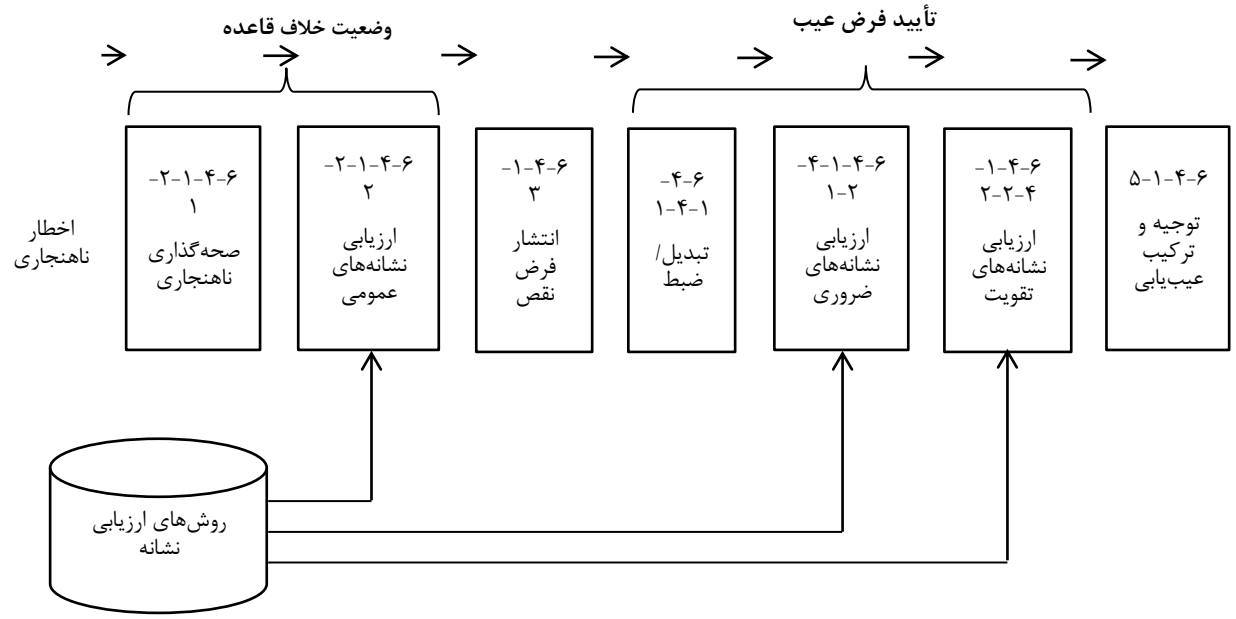
۶-۴-۱ رویکرد عیب‌یابی نشانه/ نقص

۶-۴-۱-۱ توصیف کلی

این رویکرد بر اساس بهره‌برداری از ارتباط‌های نشانه/ نقص می‌باشد و به عنوان یک مدل دانش مشارکتی شناخته می‌شود، زیرا ارتباطات بین نقص‌ها و نشانه‌ها به هم پیوسته هستند. عمل عیب‌یابی از وظایف مختلفی نتیجه می‌شودکه هر کدام از آن‌ها به جنبه خاصی اختصاص می‌یابد. وظایف عمده در زیر فهرست شده و نشان داده می‌شوند. شکل ۳ یک شرح از فازهای رویکرد ارتباطی نشانه/ نقص ارائه می‌دهد.

نقطهٔ شروع عیب‌یابی در یکی از دو حالت زیر اتفاق می‌فتد:

- حضور یک بی‌قاعدگی حقیقی، اخطار یا رفتار غیرعادی یا
- تردید بیان‌شده مانند یک ناهنجاری تا وضعیت ماشین را تعیین کند.



شکل ۳ - رویکرد عیب‌یابی نشانه/ نقص

۶-۴-۱-۲ توصیف ناهنجاری تشخیص داده‌شده

۶-۴-۱-۲-۱ صحه‌گذاری ناهنجاری

ناهنجاری می‌تواند:

- از توصیف‌گرها نتیجه شود؛
- یک تغییر غیرطبیعی در داده‌ها، بدون رسیدن به سطح اخطار باشد؛
- یک دریافت انسانی از یک تغییر بر روی ماشین (صدا، بو، دما، رطوبت، تراوش و غیره) باشد.

فرآیند به طور کلی شامل صحه‌گذاری داده‌هایی از ناهنجاری به دست آمده است (معقول بودن اندازه‌گیری، ارتباط با سایر اندازه‌گیری‌ها، بررسی معیار اخطار، بررسی مبدل، وغیره)

۶-۴-۱-۲-۲ ارزیابی نشانه‌های عمومی

این گام نشانه‌های تولید نقص را فراهم کند. یک مجموعهٔ کوچک از نشانه‌های عمومی ارزیابی می‌شوند. این نشانه‌ها، که نشانه‌های کلان گفته می‌شود (گروه‌بندی نشانه‌ها)، با استفاده از روش‌های مشخص، با توجه به نشانه‌ها، ارزیابی می‌شوند.

۶-۴-۱-۳ انتشار فرض نقص

همین‌که نشانه‌های کلان ارزیابی شد، ارتباط نقص‌ها/نشانه‌های کلان برای تولید یک فهرست فرض‌های نقص به کار می‌رود.

۶-۴-۱-۴ تأیید فرض‌های نقص

۶-۴-۱-۴-۱ کاهش/ثبت مجدد فهرست فرض نقص

این گام اختیاری است. این گام شامل کاهش زمان عیب‌یابی می‌شود. از فهرست جامع فرض نقص که یافته شده است، یک کاهش یا سفارش مجدد می‌تواند راجع به موارد زیر ساخته شود:

- احتمال وقوع نقص، از اطلاعات بازخورد، بر روی همان نوع ماشین، تحت همان سرویس و وضعیت‌های عملیاتی؛
- شدت نقص، از تحلیل بحرانی بودن؛

هنگام کاهش تعداد فرض‌های نقص، مهارت زیادی نیاز است، زیرا نتیجه می‌تواند یک امتناع اولیه از یک فرض نقص باشد. (این امر به ویژه حالتی برای نقص‌های نادر است، که با این وجود ممکن است بحرانی باشد.)

۶-۴-۱-۴-۲ ارزیابی فرض نقص

۶-۴-۱-۴-۲-۱ ارزیابی نشانه‌های ضروری

تمام نشانه‌های ضروری (یعنی مورد نیاز یا آن‌ها که باید نشان داده شوند) ابتدا امتحان می‌شوند. اگر همه نشانه‌های ضروری تأیید شوند، آن‌گاه فرض نقص تأیید می‌شود. اگر یک (یا بیشتر) نشانه ضروری تأیید نشود آن‌گاه فرض نقص رد می‌شود.
زمانی که چندین روش برای ارزیابی یک نشانه وجود دارد، بهترین روش اجرا ارجحیت دارد.

۶-۴-۱-۴-۲-۲ ارزیابی نشانه‌های تقویت

همین‌که همه نشانه‌های ضروری تأیید شدند، نشانه‌های تقویت باید ارزیابی شوند. این امر ممکن است احتمال یک نقص خاص در گام نهایی عیب‌شناسی را تقویت کند. برخلاف نشانه‌های ضروری، اگر یکی یا چند مورد از نشانه‌های تقویت تأیید نشود، نقص رد نمی‌شود.

۶-۴-۱-۵ توجیه و ترکیب عیب‌شناسی

این گام، آخرین گام در فرآیند عیب‌یابی است. هدف خلاصه کردن عیب‌شناسی واقع‌شده است.
عناصری که ارزیابی و تأیید شده‌اند در یک گزارش عیب‌یابی رسمی گردآوری می‌شود. این عناصر شامل:
الف- ناهنجاری که باعث عیب‌یابی می‌شود؛
ب- نشانه‌های عمومی که صحه‌گذاری می‌شوند؛
پ- نقص‌های رد شده با نشانه‌های صحه‌گذاری نشده؛ و
ت- نقص‌های تأیید شده با احتمالات مربوط به خودشان.
همچنین توصیه می‌شود، گزارش عناصر دیگر مطرح شده در طی مرحلهٔ نهایی فاز ترکیب را بیان کند. این عناصر برای وزن‌دهی فرض تأیید شده بر اساس موارد زیر به کار می‌رود:

۱) تاریخ ماشین؛
۲) حالات مشابه مواجه‌شده؛
۳) احتمال و بحرانی بودن نقص.

به یک جمع‌بندی باید رسید. در این جمع‌بندی، نقص‌ها به ترتیب عکس معقول بودن، ارائه می‌شوند. یک ضریب اعتماد (به صورت ذهنی ولی براساس تمام عناصر قبلی عینی) ممکن است برای هر یک ارائه شود.
عملیات اصلاحی یا اعمال نگهداری باید پیشنهاد شوند یا، اگر کار نگهداری نیاز باشد اما بتواند به تأخیر انداخته شود، تأخیر ارائه می‌شود و توصیه‌های راجع به عملیات، اگر لازم باشد، فرمول‌بندی می‌شود.
یک مثال از گزارش عیب‌یابی در پیوست ث ارائه شده است.

۶-۴-۲ رویکرد عیب‌یابی درخت علت و معلول

۶-۴-۲-۱ توصیف کلی

هنگامی که یک دانش عمیق درباره مکانیزم آغاز و گسترش نقص لازم باشد، رویکرد نشانه نقص ساده، دیگر رضایت‌بخش نیست. آن‌گاه ممکن است رویکرد عیب‌یابی درخت علت و معلول به کار رود.

روش تحلیل درخت علت و معلول زمانی که برای عیب‌یابی به کار می‌رود، یک فرآیند تعیین علت ریشه‌ای بر اساس مجموعه موجود مُدهای خرابی می‌باشد. فلوچارت تحلیل درخت علت و معلول معمولاً به شکل بازنگرانه (عیب‌یابی) استفاده می‌شود، در حالتی که آن روش برای نظر افکندن به "ناشی شده از" یا "تحت تأثیر قرارگرفته با" ارتباط بین مُدهای خرابی به کار می‌رود. اطلاعات برای این فرآیند همواره موجودند و بنابراین تخمین زده نمی‌شوند. در فرآیند پیش‌بینی، چون اطلاعات باید پیش‌بینی شوند، روش فرق می‌کند.

یک درخت علت و معلول، دانش را به صورت زیر مدل می‌کند:

- در گذشته، علت ریشه‌ای یک یا چند مُد خرابی را بنیان نهاده است؛
- ارتباط بین مُدهای خرابی می‌تواند به وسیله "فاکتورهای تأثیر" یا "معیارهای شروع" توصیف شود؛
- نشانه‌های مُد خرابی می‌تواند "شروع شود"، "سایر مُدهای خرابی را تحت تأثیر قراردهد" یا "هیچ تأثیری نداشته باشد".

شکل ۴ یک مثال از یک ساختار درخت علت و معلول برای عیب‌یابی را نشان می‌دهد.

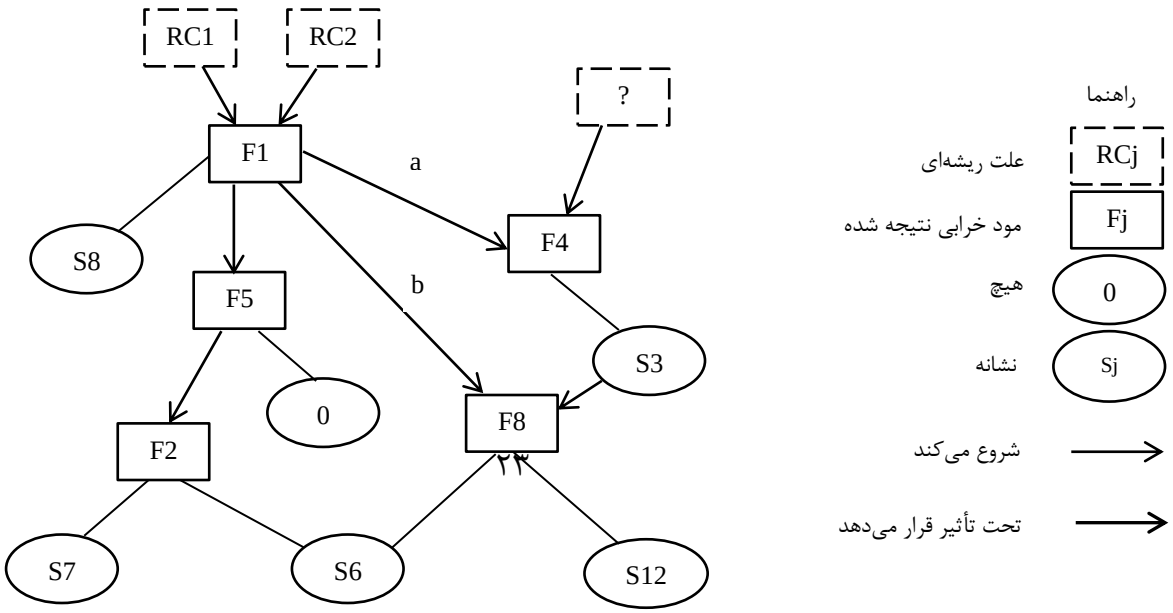
اتصال‌ها می‌توانند به صورت موارد زیر توصیف شوند:

- یک مقدار تأخیر ، تأخیر زمانی بین علت‌ها و تأثیرها را نشان می‌دهد؛ و
- یک مقدار احتمال، احتمالی را که این علت این تأثیر را دارد را نشان می‌دهد (فقط "شروع می‌شود" و "القاء می‌کند").

یک مدل درخت علت و معلول به ندرت کامل می‌شود تا هنگامی که:

- هر نقص به صورت سیستماتیک با یک نشانه متصل نشود؛ و
- علت ریشه‌ای مُدهای خرابی همواره شناخته نشوند.

یک مثال از مدل‌سازی درخت علت و معلول در پیوست ج ارائه شده است.



شکل ۴ - مثالی از مدل‌سازی درخت علت و معلول به کار رفته برای عیب‌یابی

عموماً چنین مدل‌هایی با استفاده از روش‌های حل منطقی به کار گرفته می‌شوند: با شروع با مشاهدات حقیقی، مدل برای تشخیص علت‌های ممکن اجرا می‌شود؛ سپس جمع‌بندی‌ها به اثر مورد انتظارشان کشیده می‌شوند و وقوعشان به وسیلهٔ مقایسه مشاهدات حقیقی با تصویر مدل، رد یا تأیید می‌شود. سپس فرآیند تا زمانی‌که علل اولیه (نقص‌های اولیه) برپا شوند، تکرار می‌شود.

۶-۴-۲-۲ ساخت مدل

این مدل‌ها مستقیماً بر روی رونویسی دانش متخصص درباره نقص‌ها بنا نهاده می‌شوند. بنابراین گام نخست تشخیص دادن این است که آیا چنین تخصص‌هایی موجودند و کدام متخصص‌ها باید، قبل از کار کردن با آن‌ها برای جمع کردن، فرمول‌بندی کردن و تأیید کردن تخصص، مورد مشورت قرار گیرند.

یادآوری- مدل درخت علت و معلول می‌تواند به یک مدل نمودار تبدیل شود.

۶-۴-۲-۳ نقاط قوت و ضعف

این مدل‌ها تحت شرایط زیر مناسب هستند.

- تخصص موجود باشد: بنابراین این امر نیاز به تجهیزات مورد آزمون در حالی‌که نقص‌های مهم همواره مشاهده و تحلیل شده‌اند، دارد.
- بازخورد

کمّی وسیع لزوماً در دسترس نیست (یک مثال معمولی: اجزاء بزرگ مثل مجموعه پمپ خنک‌کن توربین یا راکتور، برای حالتی که بازخورد کمّی کوچکی بر روی نقص‌ها مشخص وجود دارد).

- ساختن یک عیب‌شناسی توضیحی مطلوب است، یعنی نقص‌های تشخیص داده شده، آن‌چه را مشاهدات ساخته‌اند، توجیه می‌کنند.
- یک نمایش بصری از ارتباط نقص مطلوب می‌باشد.
- دانش تفصیلی درباره مکانیزم، مُد و رفتار خرابی، ضروری است. اطلاعات می‌توانند در مطالعات FMECA بنیان نهاده شوند، که نیازمند به‌روزرسانی منظم است.

در این زمینه، انتخاب عمق مدل، یعنی سطح جستجوی تفصیلی (ارتباط نشانه/ نقص با سطح ۱ عمق متناظر می‌باشد)یک پارامتر مهم است.

- عمق بسیار کم: توانایی توضیحی مدل ناکافی خواهد بود؛

- خیلی زیاد: مدل بسیار پیچیده خواهد بود، هم برای تأیید و هم برای بهره‌برداری.

زمانی که مدل به طور نسبی پیچیده می‌شود، ممکن است ترکیبات ممکن بسیاری درباره اطلاعات پردازش شده و مدل‌هایی که برای بهره‌برداری دشوارند، وجود داشته باشند.

۶-۴-۳ مدل‌های اصل اولیه[1]

۶-۴-۳-۱ توصیف کلی

هدف، مدل کردن رفتار عملیات تجهیزات به طور صحیح، بر اساس روابط اصل نخست یا معادلات ریاضی می‌باشد (برای مثال معادله ارتعاشی روتورها یا سازه‌های مهندسی عمران).

یک مدل از ساختار سیستم و رفتار اجزاء ساخته می‌شود. سپس آن مدل برای نتیجه گرفتن توصیف سیستم که به صورت منطقی توضیح داده شده است، به کار می‌رود. با ترکیب با یک مجموعه از مشاهدات سیستم، این توصیف، پایه‌ای برای محاسبه یک مجموعه حداقلی فرض‌های ممکن درباره سوءعمل اجزائی که می‌توانند انحرافات مشاهده را از رفتار پیش‌بینی شده (عادی) شرح دهند، فراهم می‌کند.

این مدل‌ها می‌توانند اطلاعات کمّی و کیفی درباره رفتار فیزیکی مورد انتظار، نمایش دهند.

این فرآیند عیب‌یابی، مجموعه‌های تشخیص دهنده اجزای دارای نقص درون سیستم را فراهم می‌کند.

۶-۴-۳-۲ ساخت مدل

برای ساخت مدل، یک سطح مناسب تجزیه به زیرمدل‌ها باید در تعامل نزدیک با طراحان و فیزیک‌دان‌ها انجام شود. بسته به پیچیدگی معادلات مختلف نشان‌دهنده سیستم، به دقت شرح دادن الگوریتم‌های تفکیک مناسب، ضروری است.

۶-۴-۳-۳ نقاط قوت و ضعف

این نوع از مدل هنگامی که عملیات تجهیز می‌تواند به عنوان یک ترکیب از "توابع انتقال" ساده توصیف شوند، مناسب است. این‌ها برای عملیاتی مناسب هستند که می‌توانند در اصطلاحات "شار" (برای اطلاعات، جریان، شاره و غیره) بیان شوند. آن‌ها نیازی به بازخورد بر روی نقص‌ها ندارند، بنابراین چنین مدل‌هایی می‌توانند برای تجهیزاتی که هنوز در فاز طراحی هستند به کار رود. آن‌ها به طور گسترده در حوزه الکتریک، در حالت کلی، و به طور اخص در اشکال‌یابی مدار دیجیتال، و هم در موتورهای اتومبیل، به کار می‌رود. یک مدل از رفتار عادی، امکان استفاده از همان مدل را نه فقط برای عیب‌شناسی، بلکه همچنین برای FMEA، انجام آزمایش، تحلیل عیب و غیره را دربردارد.

این رویکرد یک اشکال برای عیب‌شناسی ماشین دارد از این حیث که هزینه و تلاش استقرار اولیه، زیاد است.

---

1 - First principle models

همین که مدل اولیه درست شد و انعطاف‌پذیری با مدلی که بتواند استفاده شود (تولید FMECA)، این اشکال به سهولت اصلاح جبران می‌شود.

۶-۵ تعیین فاکتور اطمینان

این قابلیت، در اصل، تأثیر تجمعی منابع خطا را بر روی قطعیت نهایی اطمینان دربارهٔ دقت عیب‌شناسی نشان می‌دهد. این امر می‌تواند به صورت الگوریتمی یا از طریق یک سیستم ارزیابی وزنی تعیین شود. یک مثال از ارزیابی وزنی در پیوست چ ارائه شده است.

توصیه می‌شود ضریب اطمینان از طریق عناصر زیر تعیین شود:

- تاریخ تعمیر و نگه‌داری شامل تجربهٔ نقص‌های یکسان بر روی ماشین‌آلات مشابه؛
- ارزیابی مُدهای خرابی و طراحی؛
- تکنیک تحلیل یا توصیف‌گر به کار رفته؛
- شدت محدودیت‌های به کار رفته؛
- فاصلهٔ اندازه‌گیری؛
- تنظیم پایگاه داده
- اکتساب اطلاعات؛
- شدت فرآیند ارزیابی؛
- ارزیابی روش؛
- فرآیند عیب‌شناسی.

پیوست الف

(آگاهی دهنده)

مُد خرابی و تحلیل نشانه (FMSA)

شماره FMSA برگهٔ _ _ _ _ _ _ از _ _ _ _ _ _ _	تأمین کنندگان	نام مونتاژ یا بخش
		شماره‌ی مونتاژ یا بخش
		عنوان نقشه

نجمن FMSA										
تصویب FMSA	تاریخ									
نام	مضاء									
		۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲

ارتباط MPN[a]					فرکانس پایش	فنون ارتباط	MPN اولیه[a]					فرکانس پایش	تکنیک اولیه	نشانه‌های خرابی	علت خرابی	تأثیر خرابی	مُد خرابی	تابع یا فرآیند
MPN	PGN	DGN	SEV	DET			MPN	PGN	DGN	SEV	DET							

شمارهٔ FMSA ______

برگهٔ ______ از _______

تاریخ اصلاح	۱
بند	شماره بخش نام عنوان

شماره بخش نام عنوان	تابع یا فرآیند	مُد خرابی	تأثیر خرابی	علت خرابی	نشانه‌های خرابی	تکنیک اولیه	فرکانس پایش	MPN[a] اولیه					فنون ارتباط	فرکانس پایش	MPN[a] ارتباط				
								DET	SEV	DGN	PGN	MPN			DET	SEV	DGN	PGN	MPN

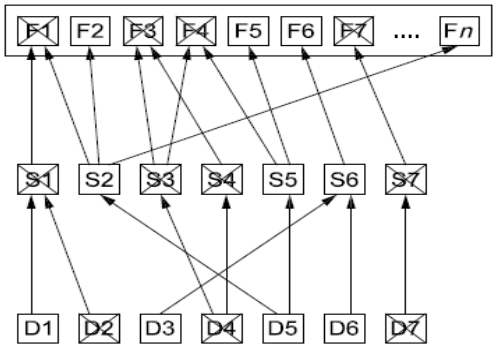
a DET= بررسی ؛ SEV= شدت ؛ DGN=عیب‌شناسی ؛ PGN= پیش‌بینی ؛ MPN= شماره‌ی اولویت پایش

پیوست ب

(آگاهی‌دهنده)

تأثیر سیستم عیب‌یابی

هر نقصی می‌تواند عیب‌یابی شود اگر نشانه‌هایش (و بنابراین توصیف‌گرهای به کار رفته برای ارزیابی این نشانه‌ها) در دسترس باشند. به شکل ب۱ رجوع شود.



راهنما

مربع‌های بدون ضربدر نشان می‌دهند:

D توصیف‌گر

F نقص ممکن

S نشانه

مربع‌های با ضربدر نشان می‌دهند:

D توصیف‌گر موجود نیست

F نقص یافته نمی‌شود

S نشانه معلوم نمی‌شود

شکل ب۱ - مثالی از ارتباط نقص‌ها/نشانه‌ها/توصیف‌گرها

نقص مفروض F_i احتمال وقوع p_i و شدت S_t را دارا می‌باشد، ممکن است یک معیار عملکرد برای تمام فرآیندهای عیب‌یابی بیان کند، کارایی سیستم عیب‌شناسی (DSE)[1]، چنین می‌باشد:

$$\frac{\sum_{D_F} S_i p_i d_i}{\sum_{F} S_i p_i} \qquad (ب۱)$$

1 - Diagnostic System Effectiveness

که در آن:

F مجموعه نقص‌های ممکن به دست آمده توسط تحلیل FMEA یا FMECA می‌باشد؛

D_F مجموعه نقص‌های قابل عیب‌یابی، یک زیرمجموعه از F، می‌باشد؛

d_i (بین صفر و ۱) قابلیت اطمینان عیب‌یابی است.

شدت، S_i، ممکن است به وسیله رابطه زیر به دست آید:

$$S_i = r_f f_c f_s f_{sd} \quad \text{(ب۲)}$$

که در آن

r_f نرخ خرابی (یعنی تعداد خرابی در هر ساعت) می‌باشد؛

f_c عبارت است از ضریب هزینه، شامل هزینهٔ نگه‌داری و عدم دسترسی، که از ۱ تا ۳ رده‌بندی می‌شود (کم، متوسط، زیاد)؛

f_s ضریب ایمنی است که از ۱ تا ۳ درجه‌بندی می‌شود (کم، متوسط، زیاد)؛

f_{sd} ضریب خسارت ثانوی است که از ۱ تا ۳ درجه‌بندی می‌شود (کم، متوسط، زیاد).

پیوست پ

(آگاهی دهنده)

تحلیل تطبیقی مدل‌های عیب‌یابی

روش عیب‌یابی	دانش به کار رفته	نقاط قوت	نقاط ضعف	کاربردها و مراجع عمومی
قاعده‌بنیان	تخصص انسانی	- سادگی نسبی اجرا	- ناتمامی - اشکال در توضیح عیوب چندگانه - توانایی توضیحی ضعیف - شکنندگی سیستم نسبت به تغییرات	- عیب‌شناسی ماشین دوار - عیب‌شناسی طبی
نقص علت و معلول	توصیف انتشار و مکانیزم نقص	- عیب‌شناسی توضیحی - مدیریت نقص‌های مستقل چندگانه	- به دانش زیادی دربارهٔ نقص ممکن (تجهیزات آزمون) نیاز دارد - ناتمام بودن	- عیب‌شناسی ماشین دوار - عیب‌شناسی طبی
اصول نخست	تابع تجزیه و انتقال تجهیزات	- به دانش دربارهٔ نقص، نیازی ندارد (تجهیزات جدید) - نقص‌های چندگانه را به خوبی مدیریت می‌کند - نسبت به تغییر سیستم ، FMEA، تولید آزمون، تحلیل عیب‌شناسی، انعطاف‌پذیری می‌دهد	- عیب‌یابی غیر توضیحی - عیب‌یابی ناهنجاری ممکن - پیچیدگی مدل در حوزه-های مشخص	- عیب‌شناسی مدار سیالی یا الکترونیکی - موتورهای خودرو و سیستم‌های کنترلی
استدلال حالت‌محور آماری	نمونه‌های حالت‌های مهم عیب‌یابی قبلی	- رویکرد به خوبی درک می‌شود - به دانش عمیق دربارهٔ عملکرد ناهنجار نیازی ندارد	- اشکال در کسب یک تعداد کافی حالت‌های مهم، گیرا	- عیب‌شناسی موتور هواپیما
درخت‌های رده‌بندی راندوم فارست‌ها (RFs) رگرسیون منطقی (LR) شبکه‌های عصبی ماشین‌آلات بردار پشتیبان (SVMs)	نمونه‌های حالت‌های مهم عیب‌یابی قبلی و اطلاعات مرتبط	- به دانش عمیق دربارهٔ عملکرد ناهنجار نیازی ندارد - RF می‌تواند اطلاعات از دست رفته را تطبیق کند	- عیب‌یابی غیر توضیحی - اشکال در کسب یک تعداد کافی حالت‌های مهم، گیرا	- هر کاربردی

پیوست ت

(آگاهی‌دهنده)

مرسوم‌ترین مدل‌های عیب‌یابی به کار رفته به وسیله تکنیک پایش

مدل عیب-شناسی /فن پایش	دانش- محور			داده‌محور						
	قاعده محور	نقص علت و معلول	اصل اولیه	روش-های آماری	استدلال حالت محور	شبکه عصبی	درخت-های رده-بندی	راندوم فارست-ها	رگرسیون منطقی	ماشین-آلات بردار پشتیبان
ارتعاش	M	D	P	M	D	D	-	D	-	-
دمانگاری	M	-	-	M	-	D	-	P	-	-
آنالیز روغن	M	P	-	M	D	D	-	D	D	D
پارامترهای فرآیند	M	-	D	M	M	M	M	M	M	M
عملکرد	M	-	D	M	M	M	M	M	M	M
انتشار صوتی	M	-	-	M	-	D	D	D	-	-
پایش صوتی	M	-	-	M	-	D	D	D	-	-
پایش الکتریکی	M	-	-	M	-	D	D	-	-	-

M: کاربردهای مرسوم و کامل در کاربردهای صنعتی

D: کاربردهای در دست توسعه و اولیه

P: انتظار و پتانسیل

پیوست ث

(آگاهی‌دهنده)

مثالی از گزارش عیب‌یابی

گزارش عیب‌یابی (برگه ۱ از ۳)	
عیب‌یابی انجام شده توسط	تاریخ
شناسایی ماشین	
ناهنجاری که عیب‌یابی را به کار می‌اندازد	
نشانه‌های عمومی تأیید شده ۱ ۲ ۳ ۴	
نقص #۱ (محتمل‌ترین)	
جز	نقص، نام مُد خرابی
نشانه‌های ضروری تأیید شده ۱ ۲ ۳	
نشانه‌های تقویت تأیید شده ۱ ۲ ۳	

گزارش عیب‌یابی (برگه ۲ از ۳)

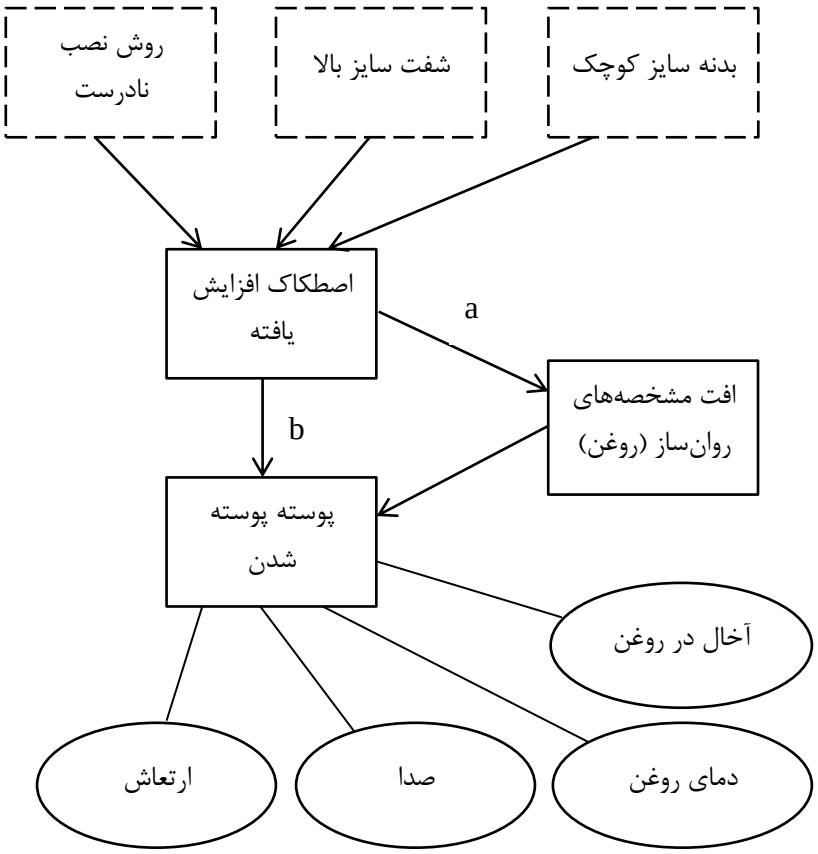
نقص #۲ (کمتر محتمل)	
جز	نقص، نام مُد خرابی
نشانه‌های ضروری تأیید شده ۱ ۲ ۳	
نشانه‌های تقویت تأیید شده ۱ ۲ ۳	
علت (علل) مُدهای خرابی یا علت ریشه‌ای مُد خرابی #۱ مُد خرابی #۲	
تاریخچهٔ ماشین	
حالت‌های مشابه مواجه شده	
بحرانی بودن نقص مُد خرابی #۱ مُد خرابی #۲	سطح اطمینان مُد خرابی #۱ مُد خرابی #۲

فرض نقص رد شده و نشانه‌های ضروری تأیید نشده	
عمل مرتبط پیشنهاد شده - عملیات نگهداری مورد نیاز ، بیشترین تأخیر قبل از عملیات نگهداری - عملیات اصلاح شدهٔ موقتی	
بازخورد به دست آمده: توصیه برای اجتناب از نقص	
مؤلف	امضاء

پیوست ج

(آگاهی‌دهنده)

مثالی از مدل‌سازی درخت علت و معلول: پوسته پوسته شدن یاتاقان



a احتمال، p=1

b تأخیر ۳ ماه است.

شکل ج۱- پوسته پوسته شدن یاتاقان مدل‌سازشده با درخت علت و معلول

مُد خرابی اولیه، یک یاتاقان با جزء غلتشی اشتباه تجهیز شده می‌باشد، که از یک یا چند علت ریشه‌ای زیر به دست آمده است:

- رویهٔ نصب اشتباه؛
- شفت سایز بالا؛
- بدنه با سایز کوچک؛

کاهش لقی یاتاقان دو تأثیر عمده دارد:

- افزایش سطح تماس؛
- افزایش تنش تماسی.

تحت شرایط عملیات طراحی، عیوب تماسی غلتشی زیرسطحی به طور طبیعی به عنوان نتیجهٔ مشخصه‌های متالوژیکی، بنیان نهاده می‌شوند. این شروع خستگی معمولاً به وسیلهٔ سازندگان یاتاقان با عنوان عمر L10 توصیف می‌شود. افزایش تنش تماسی مستقیماً، شروع و تسلسل متعاقب عیوب خستگی این‌چنینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تشدید خستگی منجر به پوسته پوسته شدن می‌شود.

افزایش سطح تماس مستقیماً درجهٔ اصطکاک غلتشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش در اصطکاک سطح غلتشی مستقیماً یک افت در مشخصه‌های روان‌کنندهٔ مورد نیاز را موجب می‌شود. افت مشخصه‌های روان‌کننده مستقیماً نرخ زوال یاتاقان به جای شروع هر عیب مربوط به خستگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

چندین تأثیر در این مکانیزم‌ها وجود دارد، که به قرار زیرند:

- زیاد گرم‌شدن
- کاهش گرانروی
- کاهش ضخامت غشاء

به عنوان رویکرد نقص/مدل، چندین تکنیک پایش ممکن است برای عیب‌شناسی مثلاً ارتعاشی، صوتی یا آنالیز روغن به کار رود.

برای این مثال، استدلال در تشخیص نقص یاتاقان می‌تواند به صورت زیر باشد:

- فراتر رفتن سطح ارتعاش از حد آستانه، هشدار را به کار می‌اندازد؛
- این حقیقت که سیگنال با فرکانس مربوط به یاتاقان میزان می‌شود، حاکی از این است که یک عیب مربوط به یاتاقان وجود دارد؛
- استفاده از آنالیز روغن (و/یا پروفیل‌های دما) عیب را تأیید می‌کند و در شناسایی یک یاتاقان خاص یا گروهی از یاتاقان‌ها کمک می‌کند.

پیوست چ

(آگاهی‌دهنده)

مثالی از تعیین سطح اطمینان عیب‌شناسی

گام فعالیت فرآیند	منابع خطا	وزن‌دهی	مقدار اطمینان اطلاعات ٪	سطح اطمینان حاصل ٪
۱	تاریخ تعمیر و نگهداری	۰/۱۵		
۲	طراحی و تحلیل مُد خرابی	۰/۱۰		
۳	توصیف‌گر به کار رفته	۰/۱۵		
۴	شدت محدودیت به کار رفته	۰/۱۰		
۵	فاصله اندازه‌گیری	۰/۱۰		
۶	استقرار پایگاه داده	۰/۰۵		
۷	به دست آوردن اطلاعات	۰/۰۵		
۸	شدت فرآیند ارزیابی	۰/۰۵		
۹	ارزیابی روند	۰/۱۰		
۱۰	فرآیند عیب‌یابی	۰/۱۵		
	سطح اطمینان کلی			

سطح اطمینان کلی، c_L، به وسیله رابطهٔ زیر بیان می‌شود

$$c_L = \sum_i W_i c_{v,i}$$

که در آن

W_i مقدار وزن‌دهی می‌باشد

$C_{v,i}$ مقدار اطمینان اطلاعات می‌باشد.

کتاب‌نامه

[1] ISO 2041, Mechanical vibration, shock and condition monitoring — Vocabulary
[2] ISO 13373-1, Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 1: General procedures
[3] ISO 13374-1, Condition monitoring and diagnostics of machines — Data processing, communication and presentation — Part 1: General guidelines
[4] ISO 13381-1, Condition monitoring and diagnostics of machines— Prognostics— Part 1: General guidelines
[5] ISO 17359, Condition monitoring and diagnostics of machines — General guidelines
[6] IEC 60812, Analysis techniques for system reliability — Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)
[7] Breiman, L. Random forest. Mach. Learn. 2001, **45**, pp. 5–32
[8] Breiman, L. Bagging predictors. Mach. Learn. 1996, **24**, pp. 123–40
[9] Breiman, L., Friedman, J., OLshen, r., stOne, C. Classification and regression trees. Belmont, CA: Wadsworth, 1984. 358 p.
[10] HOsmer, D .W., L emeshOw, S. Applied logistic regression, 2nd edition. New York, NY: Wiley, 2000. 373 p.
[11] Vapnik, V.N. The nature of statistical learning theory, 2nd edition. New York, NY: Springer, 2000. 314 p.