نشریه علمی- پژوهشی مهندسی هوانوردی
سال بیست و هفتم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۴

ارزیابی میزان قابلیت اطمینان هواپیمای بونانزا و پرستو با رویکرد ایمنی

محمود محمودی افضلی[۱]، مسعود جوادی*[۲]

۱- کارشناس ارشد هوافضا، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

۳- استادیار، مهندسی هوافضا، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۱)

چکیده

محاسبات قابلیت اطمینان برای سامانه‌های پیچیده با توجه به پیچیدگی ارتباط بین اجزا بسیار دشوار می‌باشد. در صنعت هوانوردی کشور، نظر به کمبود داده‌ها و در دسترس نبودن اطلاعات مربوط به خرابی‌های سامانه‌های هواپیما، تحقیقات کافی در زمینه‌ی قابلیت اطمینان انجام نشده است و جای مطالعه و انجام تحقیقات گسترده‌تری احساس می شود. به‌منظور تعیین قابلیت اطمینان هواپیمای بونانزا عملکرد یک دوره پنج‌ساله‌ی هواپیماهای عملیاتی در سری‌های F-33A و F33-C و پرستو مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به این‌که در سیستم تجزیه و تحلیل سازمانی، طبقه‌بندی و آنالیز دقیق عیوب در بازه‌های زمانی طولانی‌مدت و بهره‌گیری از اطلاعات ثبت‌شده در جهت بررسی میزان قابلیت اطمینان این هواپیما تاکنون به انجام نرسیده است، در این مطالعه میزان قابلیت اطمینان هواپیما بر پایه‌ی مودهای واماندگی کشف‌شده‌ی زیرسامانه‌ها و سامانه‌های پرمخاطره محاسبه شده است. جهت پی بردن به میزان قابلیت اطمینان هرکدام از سامانه‌ها و شناسایی ایرادات منجر به کاهش قابلیت اطمینان به بررسی میزان قابلیت اطمینان هواپیمای بونانزا پرداخته تا بتوان راهی مناسب و استراتژی مشخص و کارآمدی جهت بالا بردن سطح کیفیت و کاهش صدمات ناشی از مشکلات فنی تجهیزات ارائه نمود. طبق محاسبات صورت گرفته میانگین قابلیت اطمینان این پرنده در بازه زمانی پنج‌ساله ۹۷/۸ درصد بوده که یک قابلیت اطمینان عالی برای این هواپیمای آموزشی محسوب می‌گردد. با بررسی میزان قابلیت اطمینان و ارزیابی کمّی و کیفی سامانه‌های مربوطه، کیفیت و سطح ایمنی پروازها، با افزایش میزان قابلیت اطمینان بهبود می‌یابد. این امر باعث پیشرفت همه‌جانبه در پروازها شده و از بروز سوانح جلوگیری خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: *قابلیت اطمینان، تحلیل اثرات مودهای خرابی ، قطعات بحرانی، سامانه‌های پرریسک، مودهای واماندگی*

Reliability Assessment of Bonanza & PARASTO with the Safety Approach

Mahmoud Mahmoudi Afzali, Masoud Javadi

Abstract

Reliability calculations for complex systems are difficult. This subject is related to the complexity of the interconnection. Nowadays, various activities are done to promote the aviation industry nationwide, unfortunately, insufficient research has been conducted on the reliability of the missile and aviation industries due to the lack of data and information related to aircraft system failures. As well as anthropogenic errors and related natural and abnormal factors, can occur with fault classification, at different and longtime intervals, with accurate statistical monitoring of events and recorded fault analysis, to check aircraft reliability. To determine the reliability of the bonanza aircraft, the performance of the least five years of operational aircraft in series F-33A & C (PARASTO) should be studied, in which analysis of effective parameters in reliability monitoring, aircraft deployment, and system reliability must be studied. In an organizational analysis system, accurate classification and analysis of defects over long periods and the use of recorded information to assess the reliability of the aircraft have not been accomplished so far. This study considers the importance of aircraft reliability based on the failure mods found in aircraft reliability based on failure modes found in high-risk subsystems and systems, to identify the reliability of each system, and identify faults that lead to reduced reliability and specification. Each System and component compromises aircraft reliability. By improving the reliability, and quantitative and qualitative evaluation of the relevant systems, the quality and safety level of the flights improves with increasing reliability.

***Keywords*:** *Reliability, FMEA, Flight Hours, High-Risk Parts, High-Risk System, Failure Mode*

* نویسنده پاسخگو: مسعود جوادی، تلفن: ۰۹۱۲۷۵۷۵۲۴۷، پست الکترونیک: javadi@ssau.ac.ir

این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس از آدرس https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode دیدن فرمایید.

مقدمه

شیوه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان از تاریخچه پیدایش، در ارتباط با صنایع هوافضا و کاربردهای نظامی آن شکل گرفت ولی سریعاً توسط سایر صنایع مانند صنایع هسته‌ای که تحت‌فشار شدیدی جهت تضمین ایمنی و قابلیت اطمینان راکتورهای هسته‌ای در تأمین انرژی الکتریکی می‌باشند و یا صنایع فرآیندهای پیوسته مانند صنایع فولاد و صنایع شیمیایی که هر ساعت از توقف آن‌ها به علت وقوع معایب می‌تواند موجب تحمیل خسارت‌های بزرگ مالی و جانی و آلودگی محیط‌زیست شود موردتوجه و کاربرد قرار گرفت. شیوه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان اصولاً بر محور ارزیابی احتمال خطر استوار است و لذا هر دو جنبه شامل شدت خطر و هم‌چنین احتمال وقوع آن مورد بررسی قرار می گیرد.

به آشکاری روشن است که عموم مهندسان باید از مفاهیم اساسی و بنیادی کاربرد شیوه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان آگاه باشند زیرا که قوانین امروز، تأمین‌کنندگان مواد و لوازم، طراحان و سازندگان را مسئول خسارت‌های وارد بر مصرف‌کنندگان به سبب بروز معایب محصول می‌شناسند.

تاریخچه حوزه قابلیت اطمینان ممکن است به اوایل دهه ۱۹۳۰ بازگردد، زمانی که اصول و قواعد احتمالات برای مسائل مربوط به تولید برق در ایالات‌متحده مورداستفاده قرار گرفت. در خلال جنگ جهانی دوم آلمان‌ها، با استفاده از مفاهیم اصلی قابلیت اطمینان، به بهبود قابلیت اطمینان موشک‌های V1 و V2 خود نمودند و هم‌چنین در طول جنگ جهانی دوم بود که وزارت دفاع ایالات‌متحده آمریکا از نیاز خود در راستای بهبود قابلیت اطمینان تجهیزات ارتش آگاه گردید [۱].

آمریکا در خلال سال‌های ۱۹۵۰-۱۹۴۵ بررسی‌های گوناگونی را در رابطه با خرابی تجهیزات الکترونیکی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات، انجام داده است[۲]. درنتیجه بررسی‌هایی همانند آنچه که ذکرشد، وزارت دفاع آمریکا در سال ۱۹۵۰ اقدام به تأسیس یک کمیته ویژه در مورد قابلیت اطمینان نمود[۳].درمجموع از زمان ظهور قابلیت اطمینان، افراد و سازمان‌های بسیاری به آن کمک کرده‌اند و تعداد زیادی از نشریات ظاهر شده‌اند [۴].

آ. وی فیگنباوم[1] [۵] به ارائه زمینه‌های پیشرفته و مدرن کنترل کیفیت پرداخته است و از آن به‌عنوان بخشی از دانش مدیریت و فنّاوری و علم رفتار و اقتصاد توأم با کاربرد سازمان‌یافته آن برای بهبود فعالیت‌های صنعتی و ملّی قابل‌رقابت در بازارهای جهانی، یاد نموده است. بی. اس دهیلون[2] [۶] ضمن بررسی مدیریت قابلیت نگهداری، به بیان مدل‌ها، توابع و سنجه‌ها و ابزار آن پرداخته است و با بیان وجوه ویژه طراحی مبتنی بر قابلیت تعمیر و نگهداری، به مسائل مرتبط با نقش عوامل انسانی و تأثیر نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM) – از طریق نگهداری پیشگیرانه (PM) و نگهداری اصلاحی- بر ایمنی و هزینه‌های نگهداری پرداخته است. وی همچنین [۷] در بررسی‌ها خود به‌طور ویژه به محاسبه و ارزیابی هزینه چرخه عمر محصولات مهندسی و اصول بنیادی مرتبط با آن پرداخته است. در مطالعه دیگر از همین پژوهشگر[۸] به بررسی اشتباهات و قابلیت اطمینان انسانی در حوزه سامانه‌های حمل‌ونقل پرداخته است و ضمن بیان تعاریف ریاضی مرتبط با انواع توابع چگالی و توزیع آن، شش فرمول کاربردی تخمین زنی عوامل انسانی (شامل: تخمین دوره استراحت، تخمین حداکثر سرعت ایمن ماشین، برآورد عملکرد بازرس، تخمین شخصیتی با لحاظ کردن عواملی هم چون افق دید و شرایط دقت نظر فردی، برآورد ثابت تابش خیره‌کننده، برآورد کنتراست روشنایی) را ارائه نموده است؛ به‌علاوه در مواردی از سوانح مربوط به عوامل انسانی در حوزه حمل‌ونقل معرفی و شرح داده‌شده است.

در دو مطالعه جداگانه [۱۰-۹] تعاریف قابلیت اطمینان و الزامات وظیفه‌ای و غیر وظیفه‌ای از زمان طراحی محصول تا تولید آن شرح داده‌شده است و هر یک مباحثی در زمینه‌ی بهبود قابلیت اطمینان و ایمنی و کیفیت محصولات مهندسی ذکر نموده‌اند. بی اس دهلیون [۱۱] به ارتباط قابلیت اطمینان با مبانی ایمنی سامانه‌های ربات و رویکردهای ارزیابی آن از قبیل آزمون ربات، تعمیر و نگهداری و مدل‌هایی برآورد هزینه مربوط به چرخه عمر در حوزه ایمنی عملکرد رباتیک پرداخته است.

1 Feigenbaum
2 Dhillon

الساندرو بی‌رولینی[3] [۱۲] مفاهیم پایه و تحلیل قابلیت اطمینان و تحلیل قابلیت نگهداری به همراه رهنمودهای طراحی برای قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و کیفیت نرم‌افزار را ارائه کرده است. طبق این مرجع قابلیت اطمینان، قابلیت نگهداری و کیفیت نرم‌افزار باید طی فاز طراحی و توسعه، به جزئی از تجهیزات و سامانه پیچیده بدل شوند. در مرجع [۱۳] نحوه مدیریت فرآیند ارزیابی قابلیت اطمینان و بهبود آن، نیازهای داده‌ها و روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان و تحلیل قابلیت دوام بررسی‌شده است. پژوهش روی بی‌لنتون و آلن رونالد[4] [۱۴] را می‌توان به‌عنوان یک راهنمای بسیار مفید در خصوص مفاهیم و روش‌های ارزیابی قابلیت اطمینان معرفی نمود که ضمن بیان مبانی تئوری احتمالات و انواع توزیع‌های دوجمله‌ای و احتمالاتی (وایبول، نمایی، گاما، نرمال و غیره) و نحوه مدل‌سازی شبکه، به ارزیابی سامانه‌های ساده و پیچیده و مفاهیم مرتبط با آن پرداخته است؛ هم‌چنین در این مرجع زنجیره‌های ناپیوسته و فرآیندهای مارکوف و روش مشابه‌سازی مونت کارلو، ارائه‌شده است. وزارت راه و شهرسازی، آیین‌نامه‌ای [۱۵] در خصوص بررسی سوانح و حوادث هوایی (غیرنظامی) تدوین نموده است که درواقع دستورالعمل مصوب مجلس شورای اسلامی ایران است. والترد کهله [۱۶] و مهدی اسماعیلی کاکرودی در مراجع [۱۸-۱۷] به بررسی شاخص‌های قابلیت اطمینان از منظر تعاریف و کاربردها پرداخته‌اند؛ والترد کهله[5] تلاش کرده است تا با معرفی شاخص‌های مهم قابلیت اطمینان، فهمی از این شاخص‌ها و روش‌های قابلیت اطمینان محصولات مهندسی ارائه نمایند.

طبق گزارش سازمان ایمنی هوانوردی آمریکا [۱۹] و با تائید اداره بیمه هوانوردی ایالات‌متحده آمریکا در سال ۲۰۱۰ هواپیمای بونانزا ساخت شرکت بیچ کرافت در بازه زمانی پنجاه‌ساله تولید خود، جزء موفق‌ترین هواپیمای تک موتوره ساخته‌شده در عرصه هوانوردی می‌باشد. طبق اعلام سازمان هوانوردی فدرال آمریکا بیش از ۱۲۰۰۰ فروند بونانزا تحت گواهینامه این سازمان در حال پرواز می‌باشند.

قابل‌ذکر است هواپیمای ساخت مهندسین کشورمان با عنوان پرستو در شمار تولیدات این کمپانی آمده و از آن به‌عنوان هواپیمای مهندسی معکوس شده توسط ایرانیان یادشده است [۲۰-۲۴].

از پژوهش سال اخیر نیز می توان به کتاب ارزشمند دهیلون [۲۵] اشاره نمود. در این کتاب قابلیت اطمینان، ایمنی و نگهداری سیستم های مهندسی یک رویکرد یکپارچه صورت گرفته است. وانگ[6] و همکاران [۲۶] ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم برق هوانوردی با در نظر گرفتن عدم قطعیت را انجام دادند. آنها ابتدا، یک نمونه‌گیری تصادفی از توزیع‌های احتمالی نرخ خرابی اجزا انجام داده و قابلیت اطمینان سیستم را در هر نقطه نمونه محاسبه می‌کنند.

تعداد ده فروند از مدل بونانزا F-33A تولیدی سال‌های ۱۹۷۳-۱۹۷۲ و سی و نه فروند از مدل بونانزا F-33C نیز از تولیدی سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۷۶ تحت گواهینامه F. A. A به کشور عزیزمان واگذار شد که در حال حاضر به‌عنوان یک هواپیمای آموزشی پایه مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی قابلیت اطمینان هواپیمای بونانزا (پرستو) مبتنی بر داده‌های میدانی جمع‌آوری‌شده می‌باشد. هم‌چنین اهداف فرعی این پژوهش عبارت‌اند از:

۱- بررسی الگوهای ارزیابی قابلیت اطمینان؛

۲- شناسایی و تعیین مودهای واماندگی هواپیمای بونانزا (پرستو) بر اساس روش تحلیل انواع آثار مودهای وقوع خرابی FMEA؛

۳- تعیین قطعات پرمخاطره‌ی سامانه‌های هواپیمای بونانزا (پرستو) و نرخ‌بندی آن‌ها؛

۴- ارائه مدل‌هایی در خصوص محاسبه هزینه‌های مرتبط با هواپیمای بونانزا سری C & F-33 A و پرستو؛

۵- تعیین میزان قابلیت اطمینان هواپیمای بونانزا (پرستو) با توجه به داده‌های میدانی جمع‌آوری‌شده؛

ارزیابی قابلیت اطمینان و آمادگی هواپیمای بونانزا (پرستو) با روش تحلیل داده‌های میدانی

در این بخش ابتدا ثابت‌های پروازی و فرضیات مورد استفاده در این مطالعه معرفی و سپس شاخص‌های قابلیت اطمینان با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده محاسبه می‌گردد؛

3 Birolini, Alessandro
4 Billinton, Roy; Allen, Ronald
5 Walter Kohle
6 Wang

به‌منظور ارائه الگویی در ارزیابی قابلیت اطمینان هواپیماهای آموزشی کشور، مطالعه موردی بر روی هواپیمای بونانزا (پرستو) انجام شده است؛ در این پژوهش استفاده از داده‌های آماری جمع‌آوری‌شده و انجام محاسبات، مبتنی بر فرضیات زیر می‌باشد:

۱- داده‌های جمع‌آوری‌شده از خرابی زیرسامانه‌های هواپیمای بونانزا (پرستو) به‌منظور محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان، با توجه به داده‌های ثبت‌شده کامل و صحیح و بدون ازقلم‌افتادگی فرض شده است.

۲- برای محاسبه شاخص‌ها و تحلیل داده‌های میدانی، انجام تعمیرات به‌طور کامل فرض شده و از خطای تعمیرات صرف‌نظر شده است؛ هم‌چنین پس از انجام تعمیر، قطعات و زیرسامانه‌های هواپیما در حد نو فرض شده است؛ به‌عبارت‌دیگر تجهیزات تعمیر–یا تعویض- شده از خاصیت بی‌حافظگی برخوردار می‌باشند.

۳- وقوع خرابی‌های منجر به لغو یا کنسلی پرواز، به‌صورت مستقل از یکدیگر می‌باشند؛ به‌عبارت‌دیگر از وقوع خرابی‌های مشترک و تأثیر خرابی تجهیزات بر یکدیگر صرف‌نظر شده است.

۴-با توجه به بانک داده‌های خرابی در سطح تجهیزات و قطعات، ارزیابی قابلیت اطمینان در سطح زیرسامانه‌های هواپیمای بونانزا (پرستو) با توجه به نرخ خرابی‌ها صورت پذیرفته و قطعات پرمخاطره مشخص گردیده است.

با توجه به این‌که در ارزیابی قابلیت اطمینان یک سازمان هوانوردی تعاریف خاص این بخش مورداستفاده قرار می‌گیرد، ابتدا این‌گونه تعاریف ارائه می‌شود [۲۱].

مجموع ساعات پروازی : شامل کل ساعات پروازی وسیله پرنده و ساعات پروازی غیرتجاری مانند پرواز آموزشی و آزمایشی.

مجموع سیکل پروازی : هر یک‌بار نشست و برخاست هواپیما را یک سیکل پروازی می‌نامند.

تعداد تعمیرات روی هواپیما : تعداد تعمیرات روی هواپیما بر اساس حوزه زمانی که هواپیما در دسترس بوده محاسبه می‌شود به این صورت که تعداد تعمیرات انجام‌شده در این بازه زمانی تقسیم‌بر تعداد روزهای این بازه زمانی در نظر گرفته می‌شود.

روزهای کاربردی هواپیما: روزهایی که هواپیما در دسترس بوده، شامل روزهایی که هواپیما فعال بوده به‌علاوه روزهایی که نیاز به تعمیرات معمولی دارد.

تأخیرات بیش از ده دقیقه:

تأخیرات بیش از ده دقیقه که به علت نقص فنی ایجاد شده است. این تأخیرات شامل تأخیرات حاصل از بدی آب و هوا و نظیر این‌ها نمی‌شود. عمده دلایل این تأخیرها به شرح ذیل می‌باشد.

۱- تأخیر در تحویل هواپیما از چک‌های تعمیر و نگهداری

۲- هر فعالیت اصلاحی یا بازرسی که منجر به تأخیر در برنامه از پیش تعیین‌شده می‌شود.

۳- برخورد کردن، رویداد و یا حادثه‌ای که مربوط به تأخیرات فنی نمی‌شود.

۴-زمین‌گیر شدن به علت انتظار برای رسیدن قطعه

سیکل زمانی: سیکل زمانی درواقع از تقسیم زمان پروازها بر تعداد برخاست هواپیما محاسبه می‌شود.

تخمین داده‌ها

به‌منظور تخمین و محاسبه مجموع ساعات/سورتی برنامه‌ریزی‌شده و نیز مجموع ساعات/سورتی انجام‌شده روابط به شکل زیرارائه گردیده است [۲۲].

$$\sum C_x = \sum W_x + \sum S_x + \sum H1_x + \sum OPS_x + \sum H2_x \quad (۱)$$

که در آن:

$\sum C_x$: مجموع کنسلی پروازها در طی یک سال.

$\sum Wx$: مجموع کنسلی پروازها به دلیل شرایط جوی مانند: دید، برودت، بارندگی، باد، غیره.

$\sum S_x$: مجموع کنسلی پروازها به تشخیص کارشناسان بازرسی و ایمنی.

$\sum OPS_x$: مجموع کنسلی پروازها به تشخیص ستاد برتر عملیاتی.

$\sum H1_x$: مجموع کنسلی پروازها به دلیل تعطیلات انتهایی و ابتدای سال.

$\sum H2_x$: مجموع کنسلی پروازها به‌دلیل تعطیلات‌رسمی تقویم به‌غیر از جمعه‌ها.

$$\sum H_{sched} = H_{per\ day} \times 5 \times 4 \times 12 \quad (۲)$$

که در آن:

$\sum H_{sched}$: مجموع ساعات پرواز برنامه‌ریزی در طی یک سال.

$H_{per\ day}$: ساعات پرواز برنامه‌ریزی‌شده شده در طی یک روز.

۵×: تعداد روزهای یک هفته کاری.

۴×: تعداد هفته‌های یک ماه کاری.

۱۲×: تعداد ماه‌های یک سال کاری.

$$\sum N_{sched} = N_{per\ day} \times 5 \times 4 \times 12 \qquad (۳)$$

که در آن:

$\sum N_{sched}$: مجموع ساعات سورتی برنامه‌ریزی‌شده در طی یک سال.

$N_{per\ day}$: سورتی پرواز برنامه‌ریزی‌شده در طی یک روز.

۵×: تعداد روزهای یک هفته کاری.

۴×: تعداد هفته‌های یک ماه کاری.

۱۲×: تعداد ماه‌های یک سال کاری.

$$\sum H_{flown} = \sum H_{sched} - \sum C_x \qquad (۴)$$

$\sum H_{flown}$: مجموع ساعات انجام‌شده در طی یک سال.

$\sum H_{sched}$: مجموع ساعات برنامه‌ریزی‌شده در طی یک سال.

C_x : مجموع کنسلی پروازها در طی یک سال.

$$\sum N_{flown} = \sum H_{sched} - \sum C_x \qquad (۵)$$

$\sum N_{flown}$: مجموع سورتی انجام‌شده در طی یک سال.

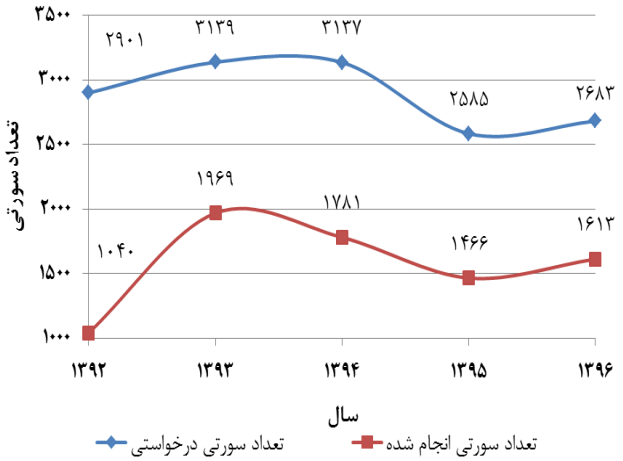
$\sum H_{sched}$: مجموع سورتی برنامه‌ریزی‌شده در طی یک سال.

C_x: مجموع کنسلی پروازها در طی یک سال.

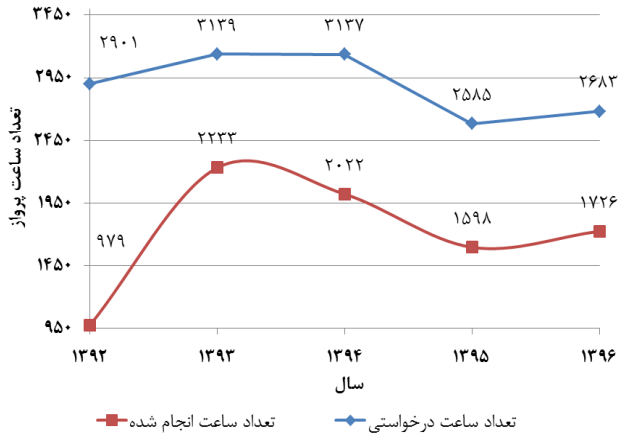
تحلیل داده‌ها

به‌منظور تعیین قابلیت اطمینان هواپیمای بونانزا، کل هواپیماهای عملیاتی نیروی هوایی از این مدل و مدل پرستو در بازه زمانی پنج‌ساله انتخاب شد که عملکرد آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. همچنین در این جدول میزان کنسلی‌ها و انصراف از پرواز نیز بیان‌شده که در ادامه جهت به دست آوردن قابلیت اطمینان هواپیمای بونانزا مورد استفاده قرار گرفته است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، **در شکل ۱** مجموع سورتی انجام‌شده توسط هواپیمای بونانزا (پرستو)، در **شکل ۲** مجموع ساعات پرواز انجام‌شده و برنامه‌ریزی‌شده و در **شکل ۳** درصد کنسلی‌های پرواز توسط همین هواپیما در طی بازه زمانی پنج‌ساله نشان داده شده است.

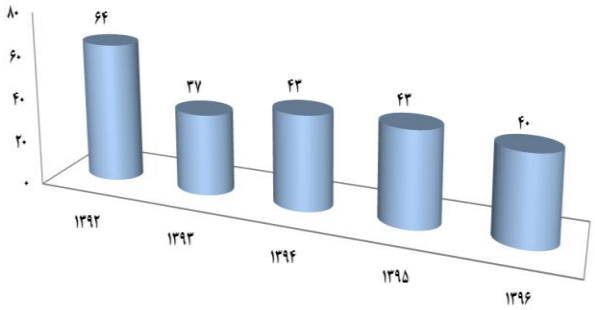
شکل ۴ به بررسی روند تعمیم‌یافته نرخ سوانح رده A هواپیمای بونانزا (پرستو) به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ ساعت پرواز در خلال سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ می‌پردازد که این اطلاعات در مقایسه با هواپیماهای مشابه، ازلحاظ تعداد فراوانی سوانح (که به‌طور میانگین معادل ۵۵ سانحه در هر ۱۰۰۰۰۰ ساعت پرواز می‌باشد) مطلوب ارزیابی می‌گردد.



شکل ۱ نمودار فراوانی سورتی پرواز برنامه‌ریزی‌شده و انجام‌شده هواپیمای بونانزا در خلال سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶



شکل ۲ نمودار فراوانی ساعات پرواز برنامه‌ریزی‌شده و انجام‌شده هواپیمای بونانزا در خلال سال‌های ۱۳۹۲ تا۱۳۹۶

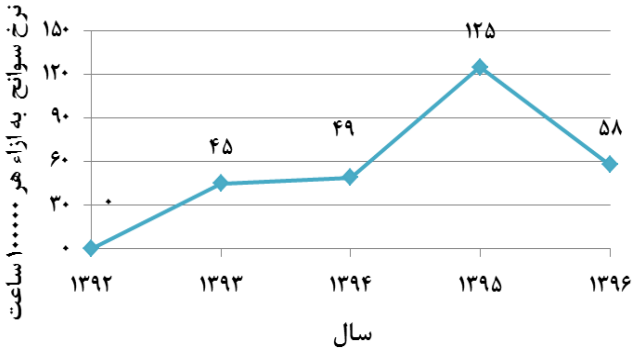


شکل ۳ نمودار درصد کنسلی‌ها نسبت به کل سورتی پرواز برنامه‌ریزی‌شده هواپیمای بونانزا در خلال سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶

هم‌چنین نحوه انجام محاسبه نرخ سوانح رده A هواپیمای بونانزا (پرستو) در نمودار شکل۴ و طبق رابطه ۶ صورت گرفته است [۲۲]:

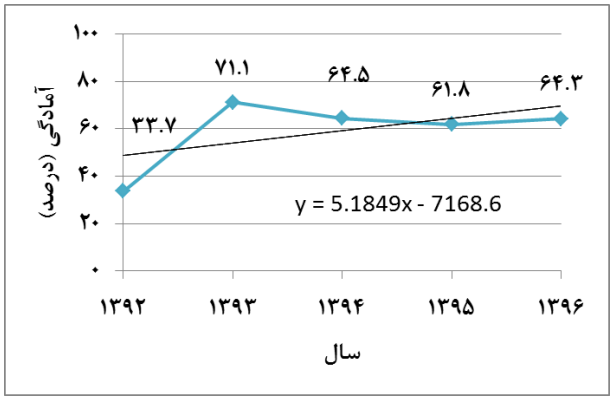
$$\text{MishapRate}(MR) = \frac{\#Class\ A}{\#Flt\ Hrs} \times 10^5 hrs \quad (۶)$$

نمودار فراوانی سوانح رده A



شکل ۴ نمودار فراوانی سوانح رده A هواپیمای بونانزا در خلال سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶

در نمودار شکل ۵ به بررسی روند آمادگی سالیانه هواپیمای بونانزا (پرستو) برحسب درصد و طبق رابطه (۷) پرداخته شده است[۲۲]؛



شکل ۵ نمودار آمادگی هواپیمای بونانزا در خلال سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶

$$\text{Availability} = \frac{\#Flt\ \ Hrs\ \ Flown}{\#Flt\ \ Hrs\ \ Sched} \quad (۷)$$

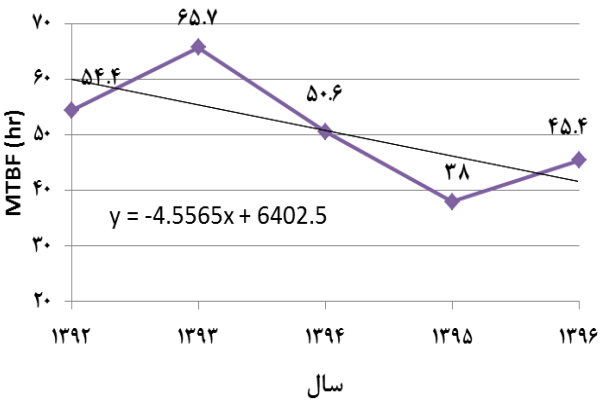
جدول ۱- اطلاعات پروازی هواپیمای بونانزا در خلال سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶.

ردیف	موضوع	سال مطالعه				
		۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲
۱	تعداد سورتی درخواستی	۲۶۸۳	۲۵۸۵	۳۱۳۷	۳۱۳۹	۲۹۰۱
۲	تعداد ساعت درخواستی	۲۶۸۳	۲۵۸۵	۳۱۳۷	۳۱۳۹	۲۹۰۱
۳	تعداد سورتی انجام‌شده	۱۶۱۳	۱۴۶۶	۱۷۸۱	۱۹۶۹	۱۰۴۰
۴	تعداد ساعت انجام‌شده	۱۷۲۶	۱۵۹۸	۲۰۲۲	۲۲۳۳	۹۷۹
۵	تعداد کنسلی‌های مربوط به وضعیت هوا، پشتیبانی، عملیاتی و ستادی و ...	۱۰۷۰	۱۱۱۹	۱۳۴۰	۱۱۷۰	۱۸۶۱
۶	بازدیدهای دوره‌ای انجام‌شده	۱۶۴	۱۰۴	۱۶۴	۲۲۸	۹۶
۷	تعداد انصراف از پرواز در طول پرواز (A/A)	۳۸	۴۲	۴۰	۳۸	۱۸
۸	تعداد اعلام‌خطر توسط خلبان	۶	۵	۱۰	۱۵	۷
۹	تعداد سوانح	۱	۲	۱	۱	۰

هدف بهره‌بردار، رسیدن به افزایش سالیانه در مقدار این شاخص می‌باشد، اما طبق ارزیابی صورت‌گرفته‌شده در بازه زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶، شیب رگرسیون شاخص آمادگی توسط نرم‌افزار اکسل برابر با ۵/۲٪ در سال بوده که مطلوب ارزیابی می‌گردد. برای به دست آوردن شاخص MTBF بایستی خرابی‌های رخداده در بازه زمانی مشخص‌شده (پنج‌ساله) تحت مطالعه، ارزیابی و به تفکیک سامانه‌های مختلف مشخص گردد. در **شکل ۶** نمودار شاخص میانگین زمان بین وقوع خرابی سالانه در هواپیمای بونانزا (پرستو) برحسب ساعت محاسبه و رسم شده است؛

این شاخص با معکوس نرخ خرابی سالانه، رابطه مستقیم دارد و هدف بهره‌بردار، رسیدن به افزایش سالیانه در مقدار این شاخص می‌باشد، طبق ارزیابی صورت‌گرفته‌شده در بازه زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶، شیب رگرسیون شاخص MTBF توسط نرم‌افزار اکسل برابر با ۴/۵- ساعت در سال است که مطلوب ارزیابی می‌گردد. هم‌چنین انجام محاسبه میانگین زمان بین وقوع خرابی هواپیمای بونانزا (پرستو) در نمودار شکل **۶** طبق رابطه (۸) صورت گرفته است[۲۲].

$$MTBF = \frac{\#Flt\ \ Hrs\ \ Flown}{\#Mx\ \ Abort\ \ \text{and}\ C_x} = \frac{1}{Failure\ \ Rate} \qquad (۸)$$



شکل ۶ نمودار میانگین زمان وقوع خرابی هواپیمای بونانزا در خلال سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶

که Mx Abort بیشترین پرواز لغو شده در نمودار **شکل ۷** به بررسی روند قابلیت اطمینان عملیاتیِ سالیانه هواپیمای بونانزا (پرستو) برحسب درصد پرداخته شده است؛ هدف بهره‌بردار، رسیدن به افزایش سالیانه در مقدار این شاخص هست، اما طبق ارزیابی صورت‌گرفته‌شده در بازه زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶، شیب رگرسیون شاخص قابلیت اطمینان توسط نرم‌افزار اکسل برابر با ۰/۲۴٪- در سال است که مطلوب ارزیابی نمی‌گردد.

اما میانگین قالبت اطمینان این پرنده در این بازه زمانی ۹۷/۸ درصد بوده که یک قابلیت اطمینان عالی برای این هواپیمای آموزشی محسوب می‌گردد. هم‌چنین انجام محاسبه قابلیت اطمینان عملیاتی هواپیمای بونانزا (پرستو) در نمودار شکل ۷ طبق رابطه (۹) صورت گرفته است[۲۲].

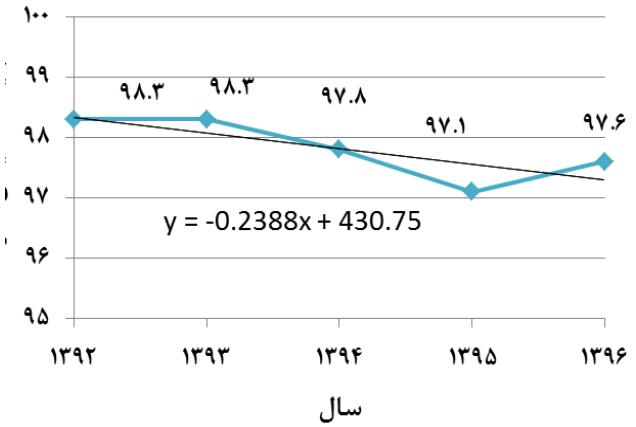
$$Mission\ \ \text{Reliability}\,(R) = 1 - \frac{\#MxAborta}{SortiesLaunched} \qquad (۹)$$

که *Sorties Launched* تعداد آمادگی کامل برای پرواز هواپیما است و پارامترهای آن به شکل زیر تعریف می شوند.

$$R(t) = e^{-(\lambda t)} \qquad (۱۰)$$

$$\lambda = \text{Failure Rate}$$

$$t = Period\ \ of\ \ Interest(mission\ duration)$$



شکل ۷ نمودار قابلیت اطمینان عملیاتی هواپیمای بونانزا در خلال سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶

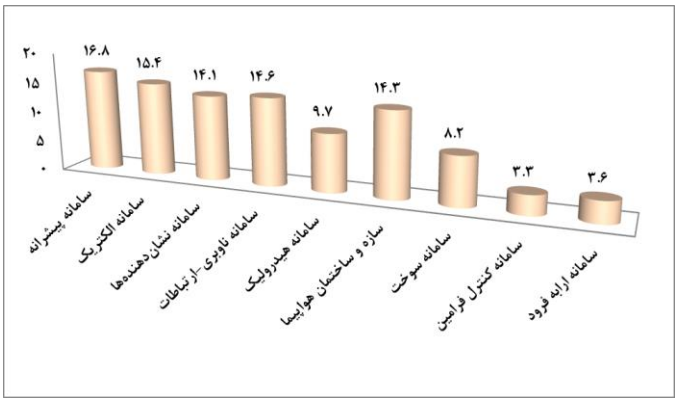
در ادامه به ارائه مودهای واماندگی منجر به بروز سانحه در هواپیمای بونانزا (پرستو) می‌پردازیم و بعد به‌منظور پیش‌بینی شاخص‌های قابلیت اطمینان و تحلیل و ارزیابی آن هواپیمای بونانزا (پرستو) از روش FMEA[۷] به تعیین قطعات پرمخاطره پرداخته می‌شود. بر اساس آمار خرابی طی یک مدت‌زمان مشخص از فعالیت سامانه می‌توان متوجه شد که تکرار کدام نقص و مشکل قطعه از یک سامانه و درنهایت خرابی آن سامانه منجر به واماندگی کلی می‌گردد [۲۳]. حتی با بررسی دقیق‌تر می‌توان بر اساس آمار، زمان خرابی هر مود را نیز محاسبه و حدس زد. جهت بررسی مودهای واماندگی هواپیما باید به دو جنبه مودهای خرابی سازه‌ای و مودهای خرابی سامانه‌ها توجه کرد. همان‌طور که مشخص است باید خرابی‌های سامانه‌های مختلف هواپیما ازجمله سامانه سوخت‌رسانی، سامانه تولید قدرت (پیشرانه)، سامانه الکتریکی، سامانه نشان‌دهنده‌ها، سامانه هیدرولیکی، سامانه کنترل فرامین و غیره را در این حوزه مورد بررسی و آنالیز قرارداد تا با توجه به قوانین مربوط به صلاحیت‌های پروازی و نیازمندی‌ها و درخواست‌های کاربر و محدودیت‌های طراحی و با مدنظر قرار دادن قیدهای فیزیکی مثل محل قرارگیری سامانه و غیره، وظایف سامانه‌ها باید در طول بهره‌برداری به نحوه احسن انجام شود تا از سالم بودن یا معیوب بودن آن سامانه مطمئن شد و دلیل خرابی و علل آن را پیدا کرد و درنهایت مودهای واماندگی آن سامانه را شناسایی نمود [۲۳]. جدول **۲** تعداد خرابی‌های عمده ثبت‌شده هواپیمای بونانزا را در سال‌های ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۶ را بیان می‌کنند.

شکل‌های **۸** الی **۱۱** نیز درصد خرابی‌های سامانه‌های مختلف هواپیمای بونانزا (پرستو) را از کل خرابی‌ها در این سال‌ها نشان می‌دهند. در ادامه نیز مودهای واماندگی هواپیمای بونانزا (پرستو) با شرح علت خرابی، اثرات خرابی روی سامانه مربوطه و هواپیما، با مشخص کردن شدت خرابی (کلاس‌بندی خرابی) در فازهای عملکردی مختلف بیان شده است.

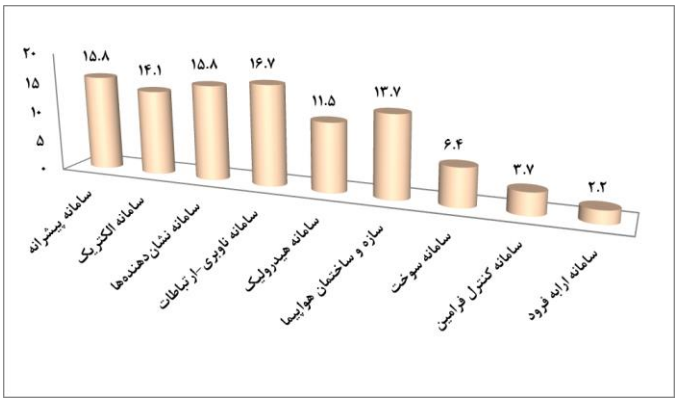
در سال‌های ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۶ تمام هواپیمای بونانزا (پرستو) ۸۵۵۸ ساعت پرواز داشته‌اند. شکل ۱۲ درصد خرابی‌های سامانه‌های مختلف هواپیمای بونانزا (پرستو) را از کل خرابی‌های این هواپیما در این بازه زمانی پنج‌ساله بیان می‌کند.

جدول ۲ تعداد عیوب اصلی شناسایی‌شده به تفکیک سامانه‌ها از سال ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۶.

سامانه‌های اصلی	سال مطالعه				
	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲
سامانه پیشرانه	۱۸۴	۲۴۳	۱۳۱	۱۳۷	۹۵
سامانه الکتریک	۱۰۸	۹۴	۱۱۷	۱۲۶	۷۳
سامانه نشان‌دهنده‌ها	۱۱۷	۱۲۴	۱۳۱	۱۱۵	۱۰۴
سامانه ناوبری-ارتباطات	۱۰۶	۱۳۸	۱۳۸	۱۱۹	۹۷
سامانه هیدرولیک (سامانه ترمز، چرخ و تایر)	۸۳	۶۶	۹۵	۷۹	۸۴
سامانه سوخت	۷۴	۴۵	۵۳	۶۷	۳۶
سازه و ساختمان هواپیما	۹۸	۹۷	۱۱۳	۱۱۷	۸۶
سامانه کنترل فرامین	۲۴	۱۶	۳۱	۲۷	۱۹
سامانه ارابه فرود	۲۸	۳۱	۱۸	۲۹	۱۸
جمع کل	۸۲۲	۸۵۴	۸۳۳	۸۱۶	۶۱۲

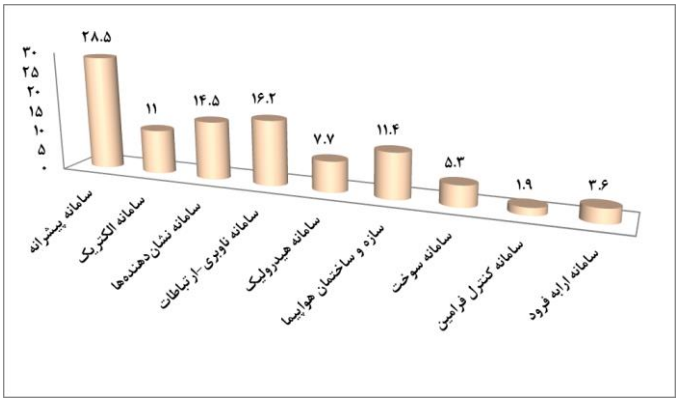


شکل ۸ درصد خرابی‌های سامانه‌های مختلف هواپیمای بونانزا در سال ۱۳۹۳

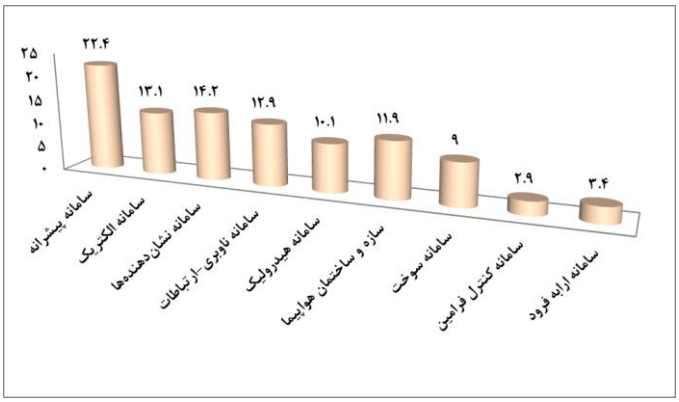


شکل ۹ درصد خرابی‌های سامانه‌های مختلف هواپیمای بونانزا در سال ۱۳۹۴

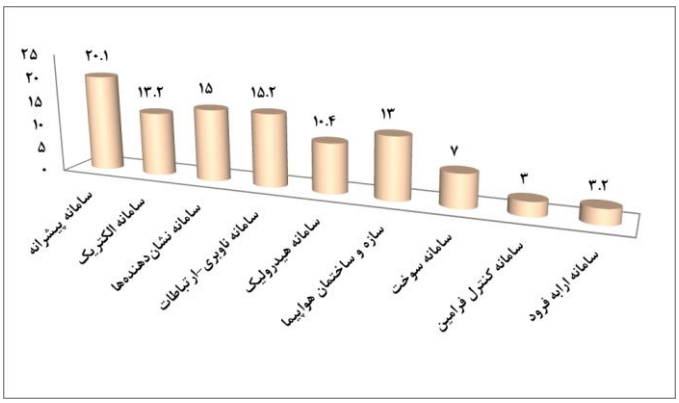
7 Failure Modes Effect Analysis



شکل ۱۰ درصد خرابی‌های سامانه‌های مختلف هواپیمای بونانزا در سال ۱۳۹۵



شکل ۱۱ درصد خرابی‌های سامانه‌های مختلف هواپیمای بونانزا در سال ۱۳۹۶

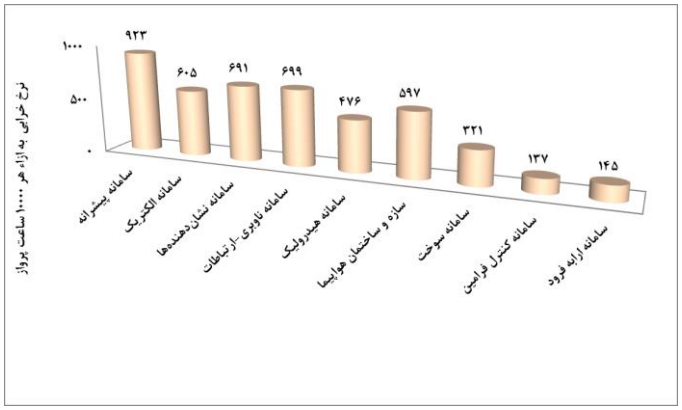


شکل ۱۲ درصد خرابی‌های سامانه‌های مختلف هواپیمای بونانزا در بازه زمانی پنج‌ساله

شکل ۱۳ نیز نرخ خرابی‌های ثبت‌شده هواپیمای بونانزا (پرستو) را به ازای هر ۱۰۰۰۰ ساعت پرواز طبق رابطه (۱۱) در همین بازه زمانی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین نرخ خرابی‌ها به ترتیب مربوط به سامانه‌های پیشرانه (موتور و ملخ)، ناوبری-ارتباطات و نشان‌دهنده‌ها بوده است.

$$\text{Failure Rate}_{1000hrs} = \frac{\#Mx\ \ Failure}{\#Flt\ \ Hrs} \times 10^4\, hrs \qquad (۱۱)$$

پیشرانه هواپیمای بونانزا متشکل از یک موتور پیستونی شش سیلندر و یک ملخ دو پره‌ای بوده که با توجه به محل قرار گرفتن موتور و ملخ به‌عنوان یک تراکتور عمل می‌کند. این سامانه یکی از سامانه‌های پیچیده هواپیما است که دارای بیشترین مودهای واماندگی می‌باشد. در **جدول ۳** شرح اثرات و شدت خرابی آن بیان‌شده است.



شکل ۱۳ نرخ خرابی‌های سامانه‌های مختلف هواپیمای بونانزا در بازه زمانی پنج‌ساله.

جدول ۳ مودهای خرابی سامانه پیشرانه.

ع.ع	مود خرابی	علل خرابی	اثرات خرابی روی سامانه	اثرات خرابی روی هواپیما	فاز پروازی	کلاس خطر
۱	خرابی مگنت ها[8]	کاهش توان موتور	مشکل داخلی مگنت بد عمل کردن سامانه ی احتراق	لرزش هواپیما	روی زمین پرواز افقی	اصلی فاجعه‌آمیز
۲	خرابی دینام[9]	لرزش بیش‌ازحد موتور، شل بودن پایه‌ها از بین رفتن قسمتی از گسکت	شکستگی پایه دینام	نشتی شدید روغن و مشکل داخلی	روی زمین پرواز افقی	اصلی خطرناک
۳	خرابی قطعه نشان دهنده دمای گاز خروجی E.G.T[10]	خرابی نشان‌دهنده خرابی حس‌گر	بالا یا پایین نشان دادن گیج (نشان‌دهنده)	ایراد در نشان‌دهنده	همه فازها	جزئی
۴	خرابی نشان دهنده دمای سر سیلندر	خرابی حس‌گر خرابی نشان‌دهنده مشکل موتور	مشکل سامانه حرارت‌سنج موتور	عدم امکان پرواز	همه فازها	خطرناک
۵	خرابی نشان‌دهنده دور موتور[11]	لرزش شدید نشان‌دهنده	خرابی گیج (نشان‌دهنده) و شفت R.P.M	عدم تشخیص صحیح دور موتور	همه فازها	اصلی خطرناک
۶	ایراد در دسته گاز[13]	مشکل و نقص دسته تراتل بادی[12]	عدم کارایی سامانه	کاهش یا از بین رفتن توان موتور	پرواز افقی همه فازها	فاجعه‌آمیز اصلی
۷	خفه کردن موتور[14]	مشکل داخلی موتور مشکل سیم‌های برق عدم سوخت‌رسانی	شکستگی قطعات نقص فنی قطعات	خاموش شدن موتور	پرواز افقی	فاجعه‌آمیز
۸	اشکال در تأمین فشار روغن	خرابی سامانه روغن	کاهش یا افزایش فشار روغن‌موتور و نشان‌دهنده	بالارفتن فشار موتور کاهش فشار موتور خرابی موتور	همه فازها	خطرناک
۹	خرابی نشان دهنده دمای روغن	ایراد گیج فشار روغن و شیر سامانه خنک سازی روغن[15]	ایراد موتور و متعلقات	کاهش توان موتور یا خاموشی موتور	همه فازها	خطرناک
۱۰	لرزش موتور[16]	خرابی موتور و سایر قطعات موتور	ایراد روی سامانه برق‌رسانی و سوخت‌رسانی	کاهش ناگهانی توان موتور	فاز زمینی	خطرناک
۱۱	ایراد در استارت موتور[17]	خرابی آب‌بند روغن خرابی داخلی جهت عدم استارت موتور	ایراد داخلی استارت	عدم روشن شدن هواپیما	فاز زمینی	اصلی

[8]Magneto
[9]Alternator
[10]Exhaust Gas Temperature
[11]R.P.M Flactuation
[12]Throttle Body
[13]Throttle movement
[14]Engine Flameout
[15]Oil Cooler Valve
[16]Engine Vibration
[17]Engine Starter

ادامه جدول ۳

ردیف	مود خرابی	علل خرابی	اثرات خرابی روی سامانه	اثرات خرابی روی هواپیما	فاز پروازی	کلاس خطر
۱۲	خرابی توزیع کننده سوخت[18]	مشکل داخلی	عدم عبور مناسب سوخت از طریق سامانه	عدم سوخت‌رسانی هواپیما	همه فازها	اصلی
۱۳	نشتی روغن[19]	خرابی واشر و آب‌بند روغن و از بین رفتن مگسک موتور و قطعات موتور	عدم کارایی قطعات به‌صورت صحیح و کاهش روغن	احتمال سقوط هواپیما	همه فازها	فاجعه‌آمیز
۱۴	ایراد در سامانه خنک سازی روغن[20]	نشتی روغن	نشتی روغن به بیرون موتور	کاهش فشار روغن و از دست دادن توان موتور	پرواز افقی	فاجعه‌آمیز
۱۵	روشن نشدن موتور	خرابی استارت و آداپتر استارت یا سقف باطری	خرابی‌های داخلی	روشن نشدن هواپیما	روی زمین حین استارت	اصلی
۱۶	نشتی روغن از ملخ	خرابی‌های داخلی ملخ	از دست دادن روغن	کاهش فشار روغن و توان موتور حین پرواز	همه فازها	خطرناک
۱۷	بدکار کردن گاورنر[21]	خرابی‌های داخلی	عدم تنظیم گام ملخ	عدم تنظیم قدرت و سرعت در حین پرواز	پرواز افقی	خطرناک
۱۸	بد کار کردن موتور[22]	نقص در سامانه سوخت‌رسانی	بدکار کردن موتور	کاهش تراست	پرواز افقی	خطرناک
۱۹	خرابی پمپ سوخت[23]	خرابی‌های داخلی	بدکار کردن موتور	کاهش تراست	پرواز افقی	خطرناک
۲۰	لرزش ملخ[24]	عدم بالانس Prop Hub Governor Bleads	لرزش	لرزش کلی	پرواز افقی	خطرناک
۲۱	ایراد Bulckhead	شکستگی و ترک عمقی	آسیب به ملخ	مانع پرواز	همه فازها	خطرناک
۲۲	خاموش نشدن موتور	سامانه سوخت‌رسانی	عدم قطع بنزین در مسیر سوخت‌رسانی	خاموش نشدن هواپیما	همه فازها	خطرناک
۲۳	ایراد Prop over speed	خرابی گاورنر قدرت ضعیف موتور مشکل ملخ	عیوب داخلی موتور	کاهش توان کلی	فاز پروازی	خطرناک
۲۴	آسیب به ملخ توسط جسم خارجی[25]	ضربه خوردن	عدم بالانس	لرزش و عدم بالانس هواپیما در پرواز	همه فازها	خطرناک

[18] Fuel divider
[19] Oil Leak
[20] Oil Cooler System
[21] Governor
[22] Engine Rough Running
[23] Fuel Pump
[24] Prop Vibration
25 Prop damage

جدول ۴ قطعات پرمخاطره سامانه‌های هواپیمای بونانزا در سال های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳

نام سامانه	سال مطالعه ۱۳۹۲ قطعه/زیرسامانه	تعداد خرابی	نرخ خرابی در هر ۱۰۰۰ ساعت پرواز	سال مطالعه ۱۳۹۳ قطعه/زیرسامانه	تعداد خرابی	نرخ خرابی در هر ۱۰۰۰ ساعت پرواز
Power Plant SYS.	ENG.	۹۵	۹۷	ENG.	۱۳۷	۶۱
	Adaptor Starter	۲۱	۲۱	Governor	۴۲	۱۹
	Prop	۷۳	۷۵	Prop	۱۲۶	۵۶
	O-Ring	۳۲	۳۳	Spinner	۲۱	۹
Flight Control SYS.	Aileron Surface	۱۹	۱۹	ELEV[26]. Surface	۲۷	۱۲
	Aileron Trim	۸	۸	ELEV. Trim	۱۳	۶
Landing Gear SYS[28].	L.G[27]. Strut	۱۸	۱۸	Shimmy Damper	۲۹	۱۳
	Shock Strut	۵	۵	Drag Strut	۱۱	۵
Electric SYS.	ALT[29].	۵۳	۵۴	Motor L.G	۷۰	۳۱
	ALT. Brush	۱۷	۱۷	L.G Brush	۱۱	۵
INST[30]. SYS.	Vacuum Pump	۲۴	۲۵	INST. Pressure	۳۰	۱۳
	Shaft	۹	۹	IND[31].	۱۶	۷
COM[32] .SYS.	Radio	۴۵	۴۶	Radio	۳۷	۱۷
	Antenna	۱۷	۱۷	Microphone	۱۴	۶
HYD[33]. SYS.	Brake SYS.	۵۷	۵۸	Brake SYS.	۴۳	۱۹
	Lining	۱۹	۱۹	Brake Units	۸	۴
Fuel SYS.	Fuel Tank	۱۷	۱۷	Fuel Tank	۲۹	۱۳
	Cell	۹	۹	Cap	۱۸	۸
Structure	Cabin Door	۲۸	۲۹	Emergency Windows	۲۱	۹
	Lock Pin	۱۶	۱۶	Lach	۹	۴

26 Elevator
27 Landing Gear
28 system
29 Alternator
30 Instrument
31 Indicator
32 Communication
33 Hydraulic

قطعات پرمخاطره سامانه‌های هواپیمای بونانزا

در بخش اول میزان خرابی سامانه‌های مختلف هواپیمای بونانزا تعیین و در ادامه به بررسی جزئیات ایرادات منجر به کاهش قابلیت اطمینان این هواپیما پرداخته‌شده است. پرسش اصلی ما در این بخش این است که کدام زیرسامانه نقش بیشتری در کاهش قابلیت اطمینان داشته است و آیا این نواقص در سال‌های متوالی تکرار شده است؟ چنانچه ایراد زیرسامانه‌ها و یا قطعات مشابه سبب کاهش قابلیت اطمینان وسایل پرنده شده باشد، می‌توان این زیرسامانه‌ها و یا قطعات را به‌عنوان بخش‌های پرمخاطره نامید. جدول ۴ الی ۶ اطلاعات مربوط به قطعات پرمخاطره سال‌های ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۷ را نشان داده است.

جدول ۵ قطعات پرمخاطره سامانه‌های هواپیمای بونانزا در سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵.

نام سامانه	سال مطالعه ۱۳۹۴ قطعه/زیرسامانه	تعداد خرابی	نرخ خرابی در هر ۱۰۰۰ ساعت پرواز	سال مطالعه ۱۳۹۵ قطعه/زیرسامانه	تعداد خرابی	نرخ خرابی در هر ۱۰۰۰ ساعت پرواز
Power Plant SYS.	ENG.	۱۳۱	۶۵	ENG.	۲۴۳	۱۵۲
	Throttle Body	۲۹	۱۴	Oil Cooler	۵۶	۳۵
	Prop	۱۱۷	۵۸	Prop	۹۴	۵۹
	Bulkhead	۳۴	۱۷	Propeller Handle	۱۴	۹
Flight Control SYS.	Flight Control Secondary	۳۱	۱۵	Rudder Surface	۱۶	۱۰
	Flap IND.	۷	۳	Rudder Control	۹	۶
Landing Gear SYS.	Emergency L.G.	۱۸	۹	Up Lock Mechanism	۳۱	۱۹
	Gear Box	۱۴	۷	Cable	۹	۶
Electric SYS.	Primary ELEC. SYS.	۴۹	۲۴	Lights	۲۵	۱۶
	Battery	۲۳	۱۱	L.G & Position Light	۱۲	۸
INST. SYS.	Flight Control IND.	۴۴	۲۲	Pilot Tube.	۲۵	۱۶
	Flap IND.	۱۴	۷	ADI IND.	۱۳	۸
COM. SYS.	Radio	۴۹	۲۴	Radio	۵۶	۳۵
	Speaker	۲۱	۱۰	Fuse	۳۴	۲۱
HYD. SYS.	Brake SYS.	۶۱	۳۰	Pedal Unit	۲۷	۱۷
	Master CYL[34].	۲۳	۱۱	Orifice Check Valve	۱۱	۷
Fuel SYS.	Fuel SYS.	۵۳	۲۶	Fuel LINE	۲۵	۱۶
	Selector Valve	۱۱	۵	Check Valve	۷	۴
Structure	L.G.	۳۶	۱۸	Cabin Heating	۳۹	۲۴
	L.G. Door	۱۴	۷	Heating Valve	۲۴	۱۵

34Cylinder

جدول ۶ قطعات پرمخاطره سامانه‌های هواپیمای بونانزا در سال های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷.

نام سامانه	سال مطالعه ۱۳۹۶ قطعه/زیرسامانه	تعداد خرابی	نرخ خرابی در هر ۱۰۰۰ ساعت پرواز	سال مطالعه ۱۳۹۷ قطعه/زیرسامانه	تعداد خرابی	نرخ خرابی در هر ۱۰۰۰ ساعت پرواز
Power Plant SYS.	ENG.	۱۸۴	۱۰۷	ENG.	۱۶۰	۸۹
	Magneto	۳۶	۲۱	Fuel Pump	۲۷	۱۵
	Prop	۱۰۸	۶۳	Prop	۸۴	۴۷
	Prop Control Assy.	۲۶	۱۵	Blade	۱۹	۱۱
Flight Control SYS.	Interconnect SYS.	۲۴	۱۴	ELEV.	۱۱	۶
	Bungee spring	۱۴	۸	ELEV. Trim IND.	۶	۳
Landing Gear SYS.	Main L.G.	۲۸	۱۶	Nose Wheel	۲۲	۱۲
	Brace Assay	۷	۴	String	۱۰	۶
Electric SYS.	Lights	۳۰	۱۷	ALT.	۴۷	۲۶
	Beacon Light	۸	۵	Voltage Regulator	۱۹	۱۱
INST. SYS.	ENG.IND.	۵۸	۳۴	ENG. IND.	۶۵	۳۶
	Oil Pressure & Temperature	۳۷	۲۱	CYL. Head TEMP.	۲۴	۱۳
COM. SYS.	Radio	۳۹	۲۳	Radio	۴۷	۲۶
	Radio Case	۹	۵	Capacitor	۱۳	۷
HYD. SYS.	Shock Strut	۳۹	۲۳	Hydraulic Line	۷۱	۴۰
	O-Ring	۱۸	۱۰	HYD. Can	۲۱	۱۲
Fuel SYS.	Fuel Tank	۳۰	۱۷	Fuel Line	۳۰	۱۷
	Drain. Valve	۱۵	۹	Return Line Valve	۱۷	۹
Structure	Air Condition	۵۲	۳۰	ENG. Bay	۴۶	۲۶
	Fresh Air Valve	۳۱	۱۸	Cowling	۱۹	۱۱

تعیین میزان اولویت خطرپذیری

یکی از شاخص‌های کمّی روش تحلیل مودهای واماندگی و اثرات آن می‌باشد. با توجه به اطلاعات موجود از فرآیند، خطر بر اساس سه فاکتور وخامت خطر، احتمال وقوع خطر و احتمال کشف و شناسایی آن درجه‌بندی می‌شود.

۱- تعیین شدّت وقوع (S) (نرخ وخامت خطر): شدّت یا وخامت خطر فقط در مورد اثر آن در نظر گرفته می‌شود. برای شدّت خطر شاخص‌های کمّی وجود دارد که برحسب ۱ تا ۱۰ بیان می‌گردد.

۲- احتمال وقوع خطر (O): احتمال وقوع خطر، مشخص می‌کند که یک علّت یا مکانیزم بالقوه خطر با چه تواتری رخ می‌دهد. احتمال رخداد بر مبنای ۱ تا ۱۰ سنجیده می‌شود. بررسی سوابق و مدارک گذشته برای سنجش این پارامتر بسیار مفید است.

۳- نرخ احتمال کشف خطر (D): احتمال کشف نوعی ارزیابی از میزان توانایی است که به‌منظور شناسایی یک علت/مکانیزم وقوع خطر وجود دارد. به‌عبارت‌دیگر احتمال کشف توانایی پی بردن به خطر قبل از رخداد آن است.

هرکدام از فاکتورهای بالا از ۱ تا ۱۰ (پایین به بالا) بر اساس جدول **۷** درجه‌بندی می‌شوند. اگر طبق رابطه (۱۲) درجات این فاکتور را در یکدیگر ضرب کنیم، نمره اولویت خطرپذیری برای هر الگوی خرابی بالقوه و آثار آن به دست می‌آید. آن دسته از آن دسته از الگوهای خرابی که دارای نمرات بالاتری هستند.

جدول ۷ جدول محاسبه پارامترهای تعیین میزان اولویت خطرپذیری

رتبه	شدت اثر	احتمال وقوع خطر	احتمال کشف خطر
۱۰	خطرناک ـ بدون هشدار	۱در ۲ یا بیش از آن	مطلقاً هیچ
۹	خطرناک ـ با هشدار	۱در ۳	خیلی ناچیز
۸	خیلی زیاد	۱در ۸	ناچیز
۷	زیاد	۱در ۲۰	خیلی کم
۶	متوسط	۱در ۸۰	کم
۵	کم	۱در ۴۰۰	متوسط
۴	خیلی کم	۱ در ۲۰۰۰	نسبتاً زیاد
۳	اثرات جزئی	۱ در ۱۵۰۰۰	زیاد
۲	خیلی جزئی	۱در ۱۵۰۰۰۰۰	خیلی زیاد
۱	هیچ	کمتر از ۱ در ۱۵۰۰۰۰۰۰	تقریباً حتمی

می‌بایستی به سرعت مورد بررسی قرار بگیرند. عدد RPN به دست آمده را به‌طورمعمول عدد ریسک می‌نامند، که بین ۱ تا ۱۰۰۰ خواهد بود و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد بهتر است [۶].

$$R.P.N=S\times O\times D \qquad (۱۲)$$

برای نمونه رابطه (۱۳) محاسبه‌ی میزان اولویت خطرپذیری سامانه‌ی پیشرانه، که با تجزیه و تحلیل میدانی و با توجه به رویدادهای پنج‌ساله انجام گرفته است را نشان می‌دهد.

$$R.P.N=S\times O\times D=6\times 5\times 5=150 \qquad (۱۳)$$

مدل‌های هزینه چرخه عمر سامانه‌های هواپیمای بونانزا (پرستو)

هدف از تدوینِ مدل هزینه چرخه عمر در سامانه‌های هواپیمای بونانزا (پرستو) ارائه یک الگوی تصمیم‌گیری مناسب و کمک‌کننده برای مدیران ارشد سازمان‌های بهره‌برداری کننده می‌باشد، به‌طوری‌که در هنگام تصمیم‌گیری برای انتخاب شرکت سازنده هواپیما و خرید نوع خاصی از آن علاوه بر مدنظر قرار دادن قابلیت و توانایی‌های هواپیمای موصوف در انجام مأموریت‌های محوله- به شاخص‌های مهمی همچون پیش‌بینی الزامات مالی، صرفه‌جویی اقتصادی و برآورد هزینه‌های مرتبط با دوره عمر پرنده توجه نمایند.

بنابراین به‌طور خلاصه می‌توان هدف از تدوین مدل‌های هزینه چرخه عمر هواپیما را چنین بیان نمود:

۱-جهت انتخاب کردن یک شرکت سازنده‌ی سامانه‌های هواپیما از بین سایر شرکت‌های رقیب یکدیگر؛

۲-جهت تصمیم‌گیری مؤثر برای جایگزینی و تعویض قطعات سامانه‌های هواپیما؛

۳-جهت مقایسه هزینه رویکردهای جایگزین برای رفع یک نیاز، یا ایجاد تغییرات در سامانه‌های هواپیما؛

مدل اول هزینه چرخه عمر هواپیما

در این مدل فرض می‌شود که هزینه چرخه عمر یک هواپیما از چهار بخش عمده تشکیل‌شده است: هزینه‌های اولیه، هزینه خرابی‌ها و سوانح، هزینه بهره‌برداری و هزینه‌های جابجایی/استقرار؛ هزینه چرخه عمر هر هواپیما طبق رابطه (۱۴) قابل‌بیان خواهد بود:

$$LCC_{A/C\,sys}=C_i+C_f+C_\circ+C_t \qquad (۱۴)$$

که در آن:

$LCC_{A/C\,sys}$: هزینه چرخه عمر هواپیما می‌باشد؛

C_i: هزینه‌های اولیه هواپیما می‌باشد که تشکیل یافته از قسمت‌هایی مانند هزینه آموزش خلبانان و کارکنان فنی- نگهداری و هزینه خرید اولیه تجهیزات می‌باشد؛

C_f: هزینه‌های ثانویه یا هزینه خرابی‌ها و سوانح هواپیما می‌باشد که تشکیل یافته از قسمت‌هایی مانند هزینه خرابی سامانه‌های هواپیما و انجام تعمیرات، هزینه نگهداری، هزینه سوانح احتمالی ناشی از به‌کارگیری هواپیما می‌باشد؛

بنابراین لازم است تا بهره‌بردار به‌منظور کاهش هزینه‌های ثانویه، به موارد زیر در هنگام انتخاب و خرید محصول هواپیما دقت نماید:

۱-میزان برخورداری هواپیمای انتخاب‌شده از خدمات پس از فروش (تضمین) توسط شرکت سازنده.

۲-میزان برخورداری هواپیما از تأمین قطعات (وارانتی) توسط شرکت سازنده.

۳-میزان قابل‌پذیرش بودن هواپیما از سوی شرکت‌های بیمه و توجه به سقف تعهدات مالی جهت جبران خسارات توسط شرکت‌های بیمه.

C_o: هزینه‌های جاری یا هزینه‌های بهره‌برداری هواپیما می‌باشد که ارتباط معنادار و نزدیکی با ساده بودن و عدم پیچیدگی سامانه‌های هواپیما دارد و از قسمت‌های زیر تشکیل یافته است:

۱-هزینه بازرسی و نگهداری پیشگیرانه

۲-هزینه‌های مرتبط با حقوق کارکنان فنی و خلبانان

۳-هزینه مربوط به مبلغ سرمایه‌گذاری شده

بنابراین لازم است تا بهره‌بردار به‌منظور کاهش هزینه‌های جاری، به موارد زیر در هنگام انتخاب و خرید محصول هواپیما دقت نماید:

۱-ساده بودن و عدم پیچیدگی سامانه‌های هواپیما در کاهش زمان و هزینه‌های بازرسی و نگهداری پیشگیرانه تأثیر چشم‌گیری دارد.

۲-ساده بودن و عدم پیچیدگی سامانه‌های هواپیما تأثیر مستقیمی بر کاهش هزینه‌های مرتبط با مبالغ سرمایه‌گذاری شده دارد.

۳-ساده بودن و عدم پیچیدگی، علاوه بر چابک سازی سامانه‌های هواپیما به کاهش تعداد کارکنان فنی و خلبانان کمک می‌نماید و لذا در کاستن هزینه‌های مرتبط با حقوق کارکنان تأثیر زیادی دارد.

هم چنین رعایت اصل سادگی و عدم پیچیدگی در طراحی سامانه‌های هواپیما علاوه بر کاستن از هزینه‌های بهره‌برداری، سبب افزایش قابلیت اطمینان هواپیما می‌گردد.

C_t: هزینه‌های جابجایی یا هزینه‌های گسترش به مأموریت هواپیما می‌باشد و ارتباط مستقیمی با برد هواپیما جهت انجام مأموریت‌های پروازی دارد و منظور از آن، هزینه‌هایی است که جهت انتقال تمامی تجهیزات سامانه‌های هواپیما به منطقه عملیاتی صرف می‌گردد.

بنابراین لازم است تا به‌منظور کاهش دادن هزینه‌های جابجایی، بهره‌بردار در هنگام انتخاب و خرید محصول به برد عملیاتی هواپیما دقت نماید.

توجه به برد عملیاتی هواپیما در هنگام انتخاب و خرید هر سامانه هواپیمایی، نه‌تنها به‌طور مستقیم در کاهش هزینه‌های جابجایی اثرگذار هست بلکه حتی می‌تواند به‌طور غیرمستقیم و از طریق کاهش احتمال وقوع خرابی و سوانح در حین جابجایی، به کاستن هزینه‌های ثانویه نیز منجر گردد.

مدل دوم هزینه چرخه عمر هواپیما

در این مدل فرض می‌شود که هزینه چرخه عمر هواپیما از دو قسمت اصلی هزینه تشکیل‌شده است که عبارت‌اند از: هزینه در محدوده زمانی معین و هزینه در محدوده زمانی غیر معین؛ بنابراین هزینه چرخه عمر هواپیما به‌صورت رابطه (**Error! No text of specified style in document.**۱۵) تعریف می‌گردد:

$$LCC_{A/C\,sys} = C_c + C_{nc} \qquad (۱۵)$$

که در آن:

$LCC_{A/C\,sys}$: هزینه چرخه عمر هواپیما می‌باشد؛

C_c: هزینه‌های هواپیما که در محدوده زمانی معین می‌باشد که برخی از مهم‌ترین معیارهای آن عبارت‌اند از:

۱-هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری از هواپیما؛

۲-هزینه‌های مربوط به نیروی انسانی هواپیما (حقوق و مزایا و بیمه)؛

۳-هزینه‌های مربوط به تعمیر و نگهداری هواپیما (تأمین قطعات یدکی و بازرسی‌های پیشگیرانه)؛

C_{nc}: هزینه‌های هواپیما که در محدوده زمانی غیر معین می‌باشد و از قسمت‌های زیر تشکیل یافته‌است:

۱-هزینه‌های مربوط به تحقیق و توسعه یا تغییر و آزمون و ارزیابی هواپیما؛

۲-هزینه‌های مربوط به مهندسی سخت‌افزاری و نرم‌افزاری هواپیما؛

۳-هزینه‌های مربوط به آموزش خلبانان و کارکنان تعمیر و نگهداری هواپیما؛

۴-هزینه‌های مربوط به فعالیت‌های بهبود قابلیت اطمینان و بهبود قابلیت نگهداری هواپیما؛

یافتن راهی مناسب و تعیین استراتژی مشخص و کارآمد جهت بالا بردن سطح کیفیت و کاهش صدمات ناشی از مشکلات فنی تجهیزات بهترین راه مقابله با خسارت‌های جانی و مالی در سازمان‌های هواپیمایی می‌باشد. این پژوهش در نظر دارد در زمینه‌ی استفاده از روش‌های نوین برای نگهداری و تعمیرات، با توجه به اهمیت موضوع قابلیت اطمینان گامی مؤثر برداشته شود.در این مطالع به تجزیه‌وتحلیل داده‌های میدانی بونانزا (پرستو) پرداخته شده و پس از تعیین شاخص‌های قابلیت اطمینان در مطالعه موردی، اقدام به رسم نمودارهای تحلیلی مرتبط با آن‌ها گردید. در ادامه ضمن ارائه مودهای واماندگی هواپیمای بونانزا (با رویکرد ایمنی) و به منظور تحلیل قابلیت اطمینان و ایمنی در این نوع از ماشین‌های پرنده، با استفاده از روش FMEA به تعیین قطعات پرمخاطره‌ای که منجر به وقوع خرابی در زیرسامانه‌های بونانزا (پرستو) و متعاقباً بروز سانحه در پرواز می‌گردد، پرداخته شده است و در نهایت دو مدل مربوط به هزینه‌های مربوط به چرخه عمر هواپیمای بونانزا (پرستو) تدوین و ارائه شده است؛ همچنین به‌عنوان نوآوری در بخش اول از فصل چهارمِ پژوهش، فرمول محاسبه تخمینِ مجموع سورتی و ساعات پروازی که - در طی یک‌سال - صورت می‌پذیرد، تدوین و ارائه شده است تا در مواردی که دسترسی به این داده‌ها میسّر نبود، مورد استفاده قرار گیرد؛ هم‌چنین در ادامه مدل‌های هزینه‌یابی چرخه عمر معرفی‌شده نیز می‌تواند به‌عنوان یک الگویِ تصمیم‌گیری مناسب در زمان انتخاب و خرید هواپیماهای آموزشی، بر مبنای پیش‌بینی الزامات مالی دوره عمر هواپیما و در کنار اهداف عملیاتی مورد توجه و استفاده قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

۱- تحلیل سوانح رده A هواپیمای بونانزا (پرستو): طبق نمودار تجمعی سوانح رده A هواپیمای بونانزا ، هم به لحاظ میانگین تعداد سوانح در پنج سال (که معادل ۵۵ سانحه در هر ۱۰۰۰۰۰ ساعت پرواز می‌باشد) و هم ازلحاظ روند رو به رشد سالانه سوانح، مطلوب ارزیابی می‌گردد.

۲- تحلیل شاخص آمادگی هواپیمای بونانزا (پرستو): در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶، شیب رگرسیون شاخص آمادگی برابر با ٪۵/۲+ در سال بوده که مطلوب ارزیابی می‌گردد.

۳- تحلیل شاخص MTBF هواپیمای بونانزا (پرستو): در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶، شیب رگرسیون شاخص میانگین زمان بین وقوع خرابی سالانه در هواپیمای بونانزا (پرستو) برابر با ۴/۵- ساعت در سال بوده و مطلوب ارزیابی می‌گردد.

۴- تحلیل خرابی‌های سامانه‌های مختلف هواپیمای بونانزا (پرستو): در این پژوهش که بر اساس اطلاعات مربوط به

سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ صورت گرفته است از مجموع ۸۵۵۸ ساعت پرواز هواپیمای بونانزا (پرستو) تعداد ۳۹۳۷ خرابی‌های عمده (اصلی) توسط کروی پروازی و کارکنان فنی گزارش شده است. بر اساس این مطالعه به ترتیب سامانه‌ی پیشرانه در ٪۲۰/۲، سامانه‌ی ناوبری-ارتباطات در ٪۱۵/۲، سامانه‌ی نشان‌دهنده‌ها در ٪۱۵، سامانه‌ی الکتریک در ٪۱۳/۲، سازه و ساختمان هواپیما در ٪۱۳، سامانه‌ی هیدرولیک در ٪۱۰/۳، سامانه‌ی سوخت در ٪۷، سامانه‌ی ارابه فرود در ٪۳/۲ و سامانه‌ی کنترل فرامین در ٪۳ این خرابی‌ها نقش داشته‌اند.

۵- تحلیل شاخص قابلیت اطمینان عملیاتی هواپیمای بونانزا (پرستو): در بازه زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶، شیب رگرسیون شاخص قابلیت‌اطمینان برابر با ٪۰/۲۴- در سال و نامطلوب ارزیابی می‌گردد. این شیب کاهش متوسط قابلیت اطمینان سالیانه را نشان می‌دهد.

پیشنهادات

۱- طبق نمودار تحلیل مودهای خرابی به وقوع پیوسته در هواپیمای بونانزا (پرستو) و به‌منظور مقابله با افزایش سالیانه نرخ سوانح در این هواپیما با حداقل هزینه ممکن، ضروری است تا هرچه سریع‌تر با تعریف یک برنامه جامع بهبود کیفی برای سامانه پیشرانه و سوخت (شامل: موتور، ملخ، ژنراتور، سامانه سوخت‌رسانی و پمپ‌ها، وایرینگ) - با ٪۲۷/۲ سهم در تعداد وقوع خرابی و ٪۷۷/۴ سهم در تعداد دلایل فنی سوانح (درگیری سامانه‌ها در سوانح)- نسبت به بهبود سامانه سوخت‌رسانی و سامانه کنترل موتور، چاره‌اندیشی گردد.

۲- طبق بررسی‌های میدانی و با توجه به آن‌که بسیاری از سوانح به وقوع پیوسته ناشی از اشکال در سامانه پیشرانه و ارابه فرود می‌باشد، هم‌چنین در زمان فرود سخت (اضطراری) به سامانه ارابه فرود، کنترل فرامین و ملخ هواپیما صدمات جبران‌ناپذیری وارد شده، لذا به‌منظور کاهش نرخ صدمات و آسیب‌های وارده، لازم است تا نسبت به مقاوم‌سازی و تقویت این بخش از سازه هواپیما اقدام گردد.

۳- با تشدید بازرسی‌های پیشگیرانه PM برای هر یک از قطعات و زیرسامانه‌های هواپیمای بونانزا (پرستو) و هم‌چنین با حفظ و بهبود رویه فرم نویسی و درج اطلاعات مربوط به فعالیت‌های تعمیر و نگهداری در پرونده هر هواپیما و اعمال دقت بیشتر در فرآیند تعمیرات با توجه به اطلاعات پرونده هواپیما باعث کاهش یافتن تعداد وقوع خرابی‌هایی می‌شود که عامل قطع پرواز برنامه‌ریزی‌شده پرنده می‌باشند و درنتیجه سبب بهبود و ارتقاء آمادگی هواپیما خواهد شد.

۴- افزایش تعداد آماده‌سازی‌های قبل از پروازِ هواپیمای بونانزا (پرستو) توسط گروه نگهداری، سبب کاهش احتمال لغو انجام مأموریت پروازیِ برنامه‌ریزی‌شده به دلیل اشکالات فنی می‌گردد و باعث ارتقاء و بهبود آمادگی هواپیما خواهد شد.

۵- با برگزاری دوره‌های آموزشی و انجام بریفینگ‌های ادواری، ضمن انتقال دانش فنی بین کارکنان تعمیر و نگهداری و همچنین از طریق انجام آزمون‌های علمی و عملی، باعث حفظ و ارتقاء کیفیت در عملکرد خدمه فنی و تیم تعمیر و نگهداری و همچنین کاستن از تعداد وقوع خرابی‌هایی شود که عامل قطع پرواز برنامه‌ریزی‌شده هواپیما می‌باشند.

۶- با انجام برنامه‌ریزی‌های لازم در خصوص افزایش تعداد نفرات متخصص گروه فنی و نگهداری، نسبت به کاستن از میانگین زمان صرف شده برای تعمیر قطعات اقدام گردد تا در اثر افزایش میانگین مدت عملکرد قطعه از زمان انجام تعمیرات تا وقوع خرابی مجدد آن ، میانگین زمان وقوع خرابی (MTBF) هواپیمای بونانزا (پرستو) افزایش یابد.

۷- با انجام چاره‌اندیشی‌های لازم در راستای کاهش زمان دسترسی به قطعات یدکی هواپیمای بونانزا (از طریق اقدام در خصوص تشکیل و تجهیز انبار قطعات یدکی ساخت داخل)، از تعداد پروازهای لغو شده در اثر مشکلات فنی ، کاسته شود و از این طریق قابلیت اطمینان عملیاتی هواپیمای بونانزا (پرستو) بهبود و افزایش داده شود.

۸- ازآنجاکه جمع‌آوری داده‌های موردنیاز برای انجام این پژوهش به دلیل عدم وجود چارچوبی مبتنی بر شاخص‌های ارزیابی قابلیت اطمینان (در خصوص ثبت داده‌های موردنیاز)، با مشکلات بسیاری توأم بود، بنابراین پیشنهاد می‌گردد تا برای اندازه‌گیری شاخص‌های کلیدیِ قابلیت اطمینان هواپیمای بونانزا (پرستو) –با قابلیت تعمیم‌دهی به سایر انواع هواپیماهای آموزشی- تعاریف و رویکردها و مدل‌های ارائه‌شده در این پژوهش، اجرا و طبق یک فرمت و الگوی واحد توسعه یابد؛ برای این منظور، با طراحی فرم‌های مخصوص ارزیابی شاخص‌های قابلیت اطمینان و ثبت آن در پرونده هواپیما و همچنین ایجاد الزام در راه‌اندازی سامانه ثبت دقیقِ اطلاعات مندرج در این فرم‌ها

-که مرتبط باسابقه فنی قطعه بر مبنای شماره انحصاری قطعه می‌باشد- نه تنها امکان محاسبه دقیق قابلیت اطمینان تجهیزات/قلم‌ها/قطعاتِ زیرسامانه هواپیما برای بررسی‌های آتی فراهم می‌گردد، بلکه حتی تضمین کیفی محصولاتِ سازندگان داخلی قطعات موردنیاز سامانه‌های هواپیمای و پرستو نیز قابل‌ردیابی می‌گردد و درنتیجه این امکان برای بهره‌بردار هواپیمای بونانزا (پرستو) فراهم می‌شود تا از میان انبوه تولیدکنندگان قطعات، بهترین گزینه‌های موجود را بر مبنای عمر مفید بیشتر و هزینه چرخه عمر کمتر انتخاب نماید؛ در طراحی فرم‌های پیشنهادی، درج اطلاعات زیر به‌منظور بهره‌برداری‌های آتی در راستای محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان بر مبنای تجهیزات، ضروری می‌باشد:

- نام شرکت سازنده قطعات یدکی زیرسامانه هواپیمای بونانزا (پرستو)
- نام و شماره سریال قطعه خراب‌شده
- تعداد دفعات وقوع خرابی قطعه
- مجموع ساعات عملکرد قطعه در زمان وقوع خرابی
- دلیل وقوع خرابی
- تاریخ کشف خرابی
- نحوه کشف خرابی (در حین بازرسی‌های پیشگیرانه؟ / در حین عملیات پروازی؟)
- آثار و علائم گزارش‌شده‌ی ناشی از خرابی به وقوع پیوسته در عملیات هواپیمای بونانزا (پرستو)
- آیا وقوع خرابی قطعه عامل لغو/قطع مأموریت سامانه هواپیما است؟ اگر بله چند بار؟
- تاریخ ارسال قطعه خراب‌شده برای تعمیر
- تاریخ پایان یافتن تعمیرات
- تاریخ نصب و راه‌اندازی مجدد قطعه بر روی زیرسامانه‌های هواپیمای بونانزا (پرستو)

منابع و مراجع

[1] Dhillon, B.S; Applied Reliability, Quality: Fundamentals, Methods & Procedures, *Springer-Verlag London Limited*, 2007

[2] Dhillon, B.S; Reliability Engineering applications: Bibliography On important Application Areas, *Beta Publishers*, Gloucester, Ontario, 1992.

[3] Coppola, A; Reliability Engineering OF Electronic Equipment: A Historical Perspective, *IEEE Transactions on Reliability in Reliability, IEEE Transactions on reliability*, Vol.33, p.p. 29-35, 1984.

[4] Dhillon, B.S; Reliability & Quality Control: Bibliography on General & Specialized Areas, *Beta Publishers*, *Gloucester*, Ontario, 1992.

[5] Feigenbaum, A.V; Total Quality Control, *MC Graw-Haill*, New York, 1993.

[6] Dhillon, B.S; Engineering Maintainability: how to design for Reliability and Easy Maintenance, *Gulf Publishing Company*, Texas, 1999.

[8] Dhillon, B.S; Life Cycle Costing for Engineers, *CRC Press*, 2010.

[9] Institute of Electrical and Electronics & International Organization for Standardization & The International Electrotechnical Commission; IEEE & ISO/IEC Standard 24765: *System & Software Engineering*, NEW YORK, 2010.

[10] N.R.C; Improving Engineering Design: Designing for Competitive Advantage, WASHINGTON DC, 1991.

[11] Dehlin, B.C.; Rai, Jalal; Amir Kamali, Arman; Reliability and safety of the robot system with a new approach, Sattari Air University Publications, Tehran, (inpersian).

[12] Birolini, Alessandro; Rai, Jalal; Hakimizadeh, Sadaf; Reliability engineering, theory, and application, Sattari Air University Publications, Tehran, first edition, 2014, (inpersian).

[13] National Standard Organization of Iran; Iran Standard and Industrial Research Institute; ISIRI-IEC 62308; Equipment reliability - reliability assessment methods; Tehran, first edition, February 1993, (inpersian).

[14] Billinton, Roy; Allen, Ronald; Rezaian, Mohsen; Reliability assessment of engineering systems, concepts, and methods, Amirkabir University of Technology Publications, Tehran, 2014, (inpersian).

[15] Ministry of Roads and City Planning; Regulations for investigating air accidents and (civilian) air accidents; Islamic Council Research Center, Tehran, registration number: 8742/T 45067H, April 2011, (inpersian).

[16] Stanley, S; MTBF, MTTR, MTTF & FIT Explanation of terms, IMC Networks, 2011.

[17] Ismaili Kakrodi, Mehdi; Allen, Ronald; Maintenance and repair indicators, Ministry of Roads and Transport, Ports and Shipping Organization, General Administration of Ports and Shipping of Khuzestan Province, 2017, (inpersian).

[18] Reliability, accessibility, explanation, and comparability; Research and Innovation Department, 2014.

[19] A.O.P.A; Beechcraft Bonanza/Debonair Safety Highlights, United States Air Safety Foundation, 2010.

[20] Akbari, Ahmed; Farghdani, Hossein; F33 aircraft preliminary training, Nahaja Strategic Publications, 1392, (inpersian).

[21] Rahmani, Afshin; Checking the reliability of fourteen Airbus 300 600 series airplanes; Master's thesis in the field of aerospace engineering; Shahid Sattari Aviation University, Faculty of Graduate Studies, 2014, (inpersian).

[22] Falahat Nia, Mahmoud; Evaluating the reliability of migrant drones with a safety approach; Master's thesis in the field of aerospace engineering; Shahid Sattari Aviation University, Faculty of Graduate Studies, 2017, (inpersian).

[23] Musapour, Mohsen; Mohammadi, Habib; The importance of investigation and prevention of aviation accidents, Shahid Sattari University of Aviation Sciences and Techniques Publications, 2007, (inpersian).

[24] Bonanza F-33 A&C Communication system maintenance manual, published under the Authority of IRIAF (1370).

[25] Dhillon, B.S. Engineering Systems Reliability, Safety, and Maintenance: An Integrated Approach (1st ed.). CRC Press. (2017).

[26] Wang, Y.; Gao, X.; Cai, Y.; Yang, M.; Li, S.; Li, Y. Reliability Evaluation for Aviation Electric Power System in Consideration of Uncertainty. Energies 2020.