نشریه علمی- پژوهشی مهندسی هوانوردی
سال بیست و سوم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۰

شناسایی عوامل مؤثر در بروز سوانح بالگردی و ارائه راه‌کارها جهت کاهش سوانح

حشمت‌اله محمدخانلو*[۱]، اکبر پوررمضانعلی [۲]

۱- دانشیار، گروه هوافضا، دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران
(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۲۸ تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۶/۲۱)

چکیده

با توجه به افزایش رو به رشد سوانح هوایی و متعاقب آن افزایش تلفات جانی و هزینه‌های تحمیلی، ارزش بررسی سوانح در کشور نمود بیشتری داشته است؛ بر این اساس، تحقیق حاضر با توجه به مطالعه مبانی نظری در حوزه سوانح هوایی و به‌طور اخص به کاهش سوانح بالگردی می‌پردازد. جامعه آماری پژوهش، خبرگان سوانح هوایی در صنعت هوانوردی می‌باشد که با استفاده از روش نمونه‌گیری غیراحتمالی هدفمند به تعیین نمونه پرداخته شده است. در این پژوهش سعی گردید تا با معرفی اجمالی عوامل تأثیرگذار در سوانح پروازی (انسان، ماشین و محیط) ضمن آشنایی با عملکرد آن‌ها و شناسایی عیوب پرتکرار و مخاطره‌آمیز، عیوب مشاهده‌شده را به تفکیک دسته‌بندی و درنهایت، تأثیر هریک از آن‌ها به‌طور جداگانه مشخص گردد. در این مقاله، ابتدا به تشریح تاریخچه پژوهش پرداخته شده است و بر اساس سوابق تحقیقات انجام‌شده برای بهبود ایمنی پروازها با استفاده از تکنیک‌ها و ابزارهای به‌کاررفته در این پژوهش پرداخته شد. همچنین، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و مراحل پیش‌بینی بررسی گردید؛ و درنهایت، با اجرای گام‌به‌گام مراحل به ثبت نتایج و ارائه پیشنهادهایی در راستای بهبود ایمنی بالگردها پرداخته شد.

با مقایسه مطالعات آماری می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین سهم سوانح بالگردی مربوط به عامل انسانی است. ایرادها و اشکالات فنی بالگرد و عوامل محیطی نیز می‌توانند نقش به سزایی در سوانح هوایی ایفا کنند. مهم‌ترین دلایل ایجاد رویدادها و سوانح در خصوص نقص فنی مربوط به خستگی قطعات چرخنده بالگرد و مهم‌ترین دلایل ایجاد سوانح در حوزه عوامل محیطی نیز مربوط به شرایط نامساعد جوی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: *سوانح هوایی بالگرد، خطای انسانی، مودهای واماندگی سامانه‌های بالگرد، عوامل محیطی*

Identify Effective Factors in the Occurrence of Helicopters and Provide Solutions to Reduce Disasters

Heshmatalah Mohamad Khanlo* and Akbar Pourramazanali

Abstract

The aim of this study is to provide a model for disaster reduction based on the study of the theoretical principles in the field of air disaster. So, the aim of this study is to provide a model for disaster reduction. The statistical population of this research is the experts of aviation accidents in aviation industry which using purposive non - probability sampling method to determine the sample. In this research we have tried to identify the factors affecting flight accidents (human, machine and environment) while familiarity with their performance and detection of hazardous and repetitive defects, identify the defects observed and finally the effect of each of them separately. In this paper, first, the history of research has been studied and based on the records of research done to improve the safety of flights using techniques and tools used in this study. Also, data analysis and prediction stages were investigated. Finally, by step - by - step implementation of the steps to capture the results and provide suggestions for improving the safety of helicopters.

By comparing and statistical studies, it can be concluded that helicopter accidents share is related to human factor. The technical problems of the helicopter as well as environmental factors can play an important role in aviation accidents. The most important reasons for the occurrence of accidents and injuries related to fatigue are the rotating parts of the helicopter and the most important reasons for disasters in the field of environmental factors are related to adverse weather conditions.

Key words: *helicopter air accidents, human error, failure modes of helicopter systems, environmental factors*

* نویسنده پاسخگو: حشمت‌اله محمدخانلو، پست الکترونیک: H_Khanloo@ssau.ac.ir

۱- مقدمه و پیشینه پژوهش

برای بهبود سوانح هوایی در بخش بالگردی و کاهش تلفات جانی و هزینه‌ها، نیاز است تا ایمنی پروازها تا حد ممکن افزایش یابد. خطاهای انسانی ازجمله مباحثی هستند که در مدیریت نظری و علمی امروز به‌ویژه در صنعت هوایی، بخش قابل‌توجهی از وقت، بودجه و توجه صاحب‌نظران و مدیران را به خود اختصاص می‌دهند. بااین‌وجود، خطای انسانی قادر به اشتباه انداختن پیشرفته‌ترین سیستم‌ها و وسایل ایمنی است. بدین منظور تلاش مضاعفی جهت ارائه برنامه‌های آموزشی، توسعه شخصیت‌ها و مواردی از این قبیل شروع‌شده و نهضت بنیادینی برای افزایش یادگیری از اشتباهات انسانی در ایمنی هوانوردی آغاز شده است. علی‌رغم افزایش آموزش‌ها در بیشتر مطالعات آماری، اشتباهات انسانی به‌عنوان عامل اصلی شناخته شده‌اند[۱]. تجهیزات هوایی به دلیل حساس بودن ازلحاظ انجام مأموریت در زمان و مکان موردنظر، نیازمند فرآیند دقیق‌تری در طراحی نسبت به سایر تجهیزات است. از ابزار «FMEA»[۱] به‌عنوان راهکاری برای مدیریت ریسک استفاده می‌شود[۲]. ایرادهای فنی بالگرد می‌تواند حلقه ایمنی را نازک‌تر و حتی در برخی موارد به‌طورکلی بالگرد را ناایمن کرده و منجر به وقوع سانحه گردد[۳]. عوامل محیطی مخاطره‌آمیز نیز باید حذف یا ایزوله گردند تا ریسک بروز حادثه وجود نداشته باشد. عامل صدمه رسان، نوع و مقدار انرژی مخاطره‌آمیز مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده شدت آسیب وارده است[۴]. طی سال‌های اخیر، اقدامات ایمنی هوانوردی به‌سوی بهبود فناوری با تمرکز بر شیوه‌های مهندسی و عملیاتی جهت یافته‌اند که به‌نوبه‌خود موفقیت‌های نسبی جهت کاهش رویدادها در پی داشته است که در ادامه به برخی از این تحقیقات اشاره می‌گردد[۱].

شروع کار و پرواز بالگردها در اوایل دهه ۱۹۴۰ بوده است. از آن سال این بخش حمل‌ونقل هوایی نوپایی مخصوص به خود را داشته و سوانح بالگردی به‌طور نسبتاً زیادی رخ داده است. مهندسان و خلبانان از مشکلات اولیه مطلع شدند و ایمنی بالگردها شروع به بهبود نمود بطوریکه بالگردهای نظامی و غیرنظامی هم‌زمان در این عرصه توسعه یافتند و پیشرفت‌های چشمگیری در تکنیک‌های شناسایی خطر در طول طراحی اولیه بالگرد، به‌وجود آمد. فرآیندهای مدیریت ریسک برای اطمینان از حفظ یا بهبود در طول عمر عملیاتی ناوگان بالگرد، درحال توسعه می‌باشند. پیش‌گیری از حوادث ناشی از علل خرابی سامانه‌ها یک فرآیند نسبتاً قدیمی است، درحالی‌که شناسایی و تصحیح خطای انسانی در بالگردها هنوز در دوران اولیه خود به سر می‌برد. ارزیابی ریسک یک مسئله کلیدی است که می‌توان تشخیص داد که آیا ایمنی درواقع در حال بهبود یا تنزل است[۵].

ریچارد چایس و ویلیام ای.سیمپسون (۱۹۸۵) در تحقیقی به ارائه یک روش جدید برای بررسی استفاده از تکنولوژی برای رفع خطای خلبان پرداخته‌اند. آنان خطای آزمایشی مربوط به حوادث بالگرد را برای شناسایی مناطقی که در آن تکنولوژی ممکن است باعث کاهش یا حذف علت اصلی خطاهای انسانی شود، ارائه کردند؛ و براساس داده‌های تحقیق دریافتند که خلبان به‌عنوان یک عامل اصلی یا عاملی مرتبط در اکثر سوانح هوایی است. محقق رویکرد تحلیلی المان کار را انتخاب کرد؛ و درنهایت به این نتیجه رسید که با بهره‌گیری از تکنولوژی می‌توان برخی حوادث ناگوار را شناسایی و حذف نمود[۶].

بنیاد ایمنی پرواز (۲۰۰۵)، مجموعه‌ای از سوانح بالگرد که توسط مارک هابر گرفته شده بود را ارائه داد. این گروه یک استراتژی جامع و پنج نقطه‌ای برای بهبود ایمنی بالگرد تجاری جهت عملیات خدمه و مسافران را پیشنهاد کرد. توصیه‌های کلیدی شامل اجرای استراتژی‌های شناسایی ریسک و استراتژی‌های کاهش / مدیریت و همچنین ابزارهای بهبود یا توسعه فرهنگ ایمنی سازمانی، بهبود تصمیم‌گیری و تبعیت از رویه‌ها، نحوه آموزش پرواز ایمن، توسعه SMS[۲] ارزیابی ریسک، آموزش پایش داده‌های پرواز می‌باشد. این مقاله به رفع فوری مشکلات ایمنی با مشارکت فعال اپراتورها، تولیدکنندگان، طراحان و مصرف‌کنندگان برای کاهش سوانح مرگبار بالگرد اشاره می‌کند[۷].

آلکس دی ووگت و رابرت ون دورن (۲۰۰۷) تحقیقی در خصوص سوانح بالگرد با استخراج اطلاعات و الگوهای روابط مشخص در حجم زیادی از داده‌ها در پایگاه‌داده NTSB[۳] ارائه نمودند. در این مطالعه، با تجزیه‌وتحلیل‌های تصادفی در مقیاس بزرگ، سوانح هواپیمایی ملخ‌دار و بالگرد را ترکیب کرده و نمای کلی تمامی حوادث بالگرد ایالات‌متحده طی بیست‌وپنج سال گذشته را فراهم نمودند. آنالیز داده‌های ارائه‌شده توسط NTSB نشان می‌دهد که وقتی سوانح در شرایط نامساعد جوی و یا شرایط IMC[۴] رخ بدهد، بالگرد به‌طور قابل‌توجهی بیشتر متحمل خسارت خواهد شد. در مقابل، حوادثی که در آن بالگرد در نزدیکی زمین قرار داشته باشد، تلفات کمتری را نشان می‌دهد.

همچنین،عملیات‌ویژه بالگردمانندپروازهای دستوری و برنامه‌های هوایی، تلفات کمتری نسبت به پروازهای تجاری دارد[۸].

حامد ملکوتی‌خواه و همکاران (۱۳۹۰) تحقیقی در خصوص طراحی و ساخت جاذب دینامیکی برای کاهش صدای یک هواپیمای توربوپراپ ارائه نمودند. در این مقاله طراحی جاذب دینامیکی برای نصب، روی بدنه برای جذب ارتعاش و استهلاک انرژی صوت در سازه هواپیما که مسیر انتقال ارتعاش و صوت است، مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا روابط تئوری برای طراحی جاذبه‌های دینامیکی قابل تنظیم استخراج شده، سپس طرح اجزاء محدود جاذب با استفاده از نرم‌افزار انسیس تحلیل شده و در پایان، ساخت و آزمایش آن برای هواپیمای توربوپراپ آنتونف ۱۴۰ انجام شده است[۹].

محمد فرهمند و همکاران (۱۳۹۳) مقاله‌ای در خصوص ارزیابی و برنامه‌ریزی جهت بهبود قابلیت اطمینان بالگرد در شرکت هواپیماسازی ایران ارائه نمودند. در این پژوهش با تمرکز بر روی بالگرد موردمطالعه، به بررسی قابلیت اطمینان قطعات اصلی بالگرد و به‌منظور ارتقای سطح قابلیت اطمینان کل محصول (بالگرد) پرداخته شده است؛ و در طی آن باهدف ارائه الگوریتمی جامع و یکپارچه به‌منظور بهبود قابلیت اطمینان تولیدات انجام گرفته است[۱۰].

آنتونی فاکروگ (۲۰۱۴) تحقیقی در خصوص فن‌آوری‌هایی جهت دستیابی به فاکتورهای ایجاد سوانح بالگرد ارائه داده است. وی در تحقیق خود به این نتیجه رسید که عدم استفاده از فنّاوری در فهرست بالاترین عوامل سوانح قرار ندارد چراکه صرفاً فقدان فن‌آوری نیست که منجر به یک سانحه می‌شود. فن‌آوری مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها را ارائه می‌کند که می‌تواند به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به موضوعات ایمنی شناسایی‌شده بپردازند و می‌تواند به جلوگیری از انواع مختلف سوانح و یا افزایش قابلیت بقا کمک کنند. در این تحقیق با ارائه فهرستی از فن‌آوری‌ها و ارتباط آن‌ها با سوانح تهیه شده و سپس ارزیابی پتانسیل آن فن‌آوری‌ها برای کاهش مشکلات ایمنی بکار گرفته شد. برای ارزیابی پتانسیل فنّاوری‌ها، این تیم یک ابزار را ایجاد کرده است که به‌اصطلاح ماتریس فن‌آوری نامیده می‌شود. این کار با شناسایی فنّاوری‌های فردی و درنهایت فرآیند ارزیابی (درجه‌بندی) این فنّاوری‌ها تعریف و اجرا شده است[۱۱].

ولادیمیر سوشا و همکاران (۲۰۱۴) تحقیقاتی در خصوص سوانح هوایی و پیش‌گیری از آن پرداختند. آن‌ها به مطالعه تأثیر عوامل انسانی بر سوانح هوایی و پیش‌گیری از آن‌ها با ارائه مدل‌هایی جهت تجزیه‌وتحلیل و طبقه‌بندی عامل انسانی پرداخته‌اند. درعین‌حال، این مدل‌ها بررسی‌های شایسته و ارزیابی دقیق در خصوص حوادث مرتبط با علل محیطی را نیز ممکن می‌سازند که درنتیجه از وقوع مجدد سوانح جلوگیری می‌کنند. در این تحقیق محققان به این نتیجه رسیدند که مؤثرترین راه در ارتباط با مسئله ایمنی حمل‌ونقل هوایی با توجه به عوامل بالقوه ناشی از حوادث هوایی، پیش‌گیری از آن‌ها است. این مدل، علل حوادث ناشی از مراحل مجزای پرواز را طبقه‌بندی می‌کند. در این پژوهش مطالعه بر روی تحقیقات حوادث هوایی و پیش‌گیری از آن‌ها متمرکز شده است[۱۲].

موبولاژی استفانس و همکاران (۲۰۱۴) به دنبال توسعه یک روش تحلیل تجربی علل سوانح هوایی از دیدگاه مدیریت حمل‌ونقل بوده‌اند. آنچه که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت، بررسی علل سقوط هوایی در سراسر جهان و تحلیل آن‌ها بر اساس محل سانحه برای تعیین علل حوادث در مکان‌های مختلف بود. در ادامه تحقیق مشاهده شد که نواحی مشخصی از علل وقوع سانحه و برخی دیگر در معرض علل وقوع سانحه بوده‌اند؛ و درنهایت به این نتیجه رسیدند که آمریکای شمالی دارای موارد بیشتری از سوانح هوایی نسبت به مناطق دیگر بوده است اما در مقایسه با حجم ترافیک در این منطقه می‌توان دریافت که چرا بیشتر از سایر مناطق سقوط داشته‌اند و آن‌ها را می‌توان به برخی از قاره‌های دیگر مانند آسیا و آفریقا تشبیه کرد[۱۳]. امیررضا شاهانی (۱۳۹۴) مقاله‌ای در خصوص تحلیل اطلاعات آماری و مدل‌سازی قابلیت اطمینان ملخ بالگرد با در نظر گرفتن حالت‌های چندگانه‌ی واماندگی ارائه نمود که براین اساس با تحلیل قابلیت اطمینان ۳۳۸ عدد ملخ بالگرد ۲۰۵ در شرایط پروازی بین سال‌های ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۰ انجام شد. توابع قابلیت اطمینان با روش تخمین کاپلان - میر محاسبه و پس از استخراج بازه‌های اطمینان برای نتایج غیرپارامتریک به کمک دو روش حداکثر احتمال و نموداری، توزیع وایبول سه پارامتری به دست آمد. همچنین توابع تجمع خرابی حالت‌های واماندگی با روش تخمین نلسون - آلن استخراج شد. یکی از نتایج مهم این بود که قابلیت اطمینان این ملخ‌ها دارای توزیع وایبول سه پارامتری و آهنگ واماندگی فزاینده با زمان است. درنهایت مشخص شد که ارتعاشات بیشترین تأثیر را در واماندگی ملخ‌ها داشته است[۱۴].

فرید شاهمیری و همکاران (۱۳۹۵) مقاله‌ای در خصوص ارتعاشات انتقالی از ملخ بالگرد به بدنه ارائه نمودند. ایشان این عامل را باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل کاهش عمر مفید قطعات دانسته و به این نتیجه رسیدند که ارتعاشات دلایل مختلفی از قبیل نابالانسی اینرسی و آئرودینامیکی می‌تواند داشته باشند؛ بنابراین با ارائه روشی مناسب برای کاهش ارتعاشات انتقالی اقدام نمودند. (روش "مایکل اِستاد")[۱۵].

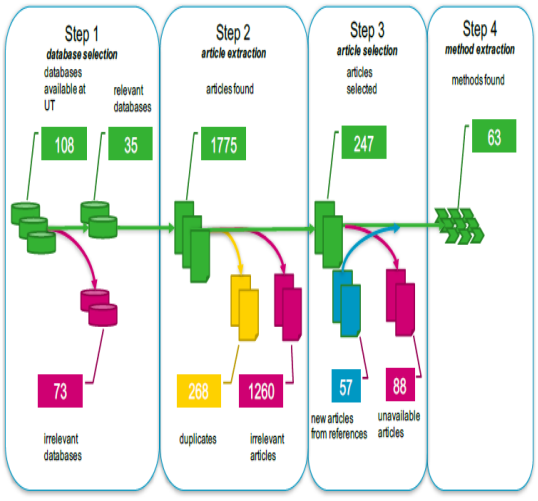
عارجون رائو و کاران مارایس (۲۰۱۶) در مقاله خود به روشی برای شناسایی زنجیره‌های وقوع ریسک با استفاده از داده‌های سوانح گذشته که توسط «NTSB» ارائه شده است را بررسی نمودند. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار «SPSS» انجام شد. در این مقاله سعی شد تا با استفاده از روش فراوانی نسبی، میزان بروز حوادث و آسیب‌های ناشی از آن بررسی شود. در این مطالعه محققان پنج زنجیره رخداد متفاوت را شناسایی کردند و نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که سه زنجیره از پنج زنجیره رخداد منجر به حوادث جدی مربوط به خرابی موتور می‌باشند[۱۶].

سباستین ماریان زاهاریا (۲۰۱۶) تحقیقی در خصوص تست قابلیت اطمینان و تحلیل خرابی ساختار تیر توپی روتور بالگرد انجام داد. در این مقاله، شاخص‌های قابلیت اطمینان (تابع قابلیت اطمینان، عملکرد عدم قابلیت اطمینان، نرخ خرابی، چگالی احتمال، میانگین عمر) براساس داده‌های جمع‌آوری‌شده مربوط به آزمایش خستگی تیغه تعیین شدند. علاوه بر این، تخصص فنی در مورد یک تیغه تست‌شده با کمک آنالیز میکروسکوپی انجام شد[۱۷].

ویلیام دنیس فیتزگرلد (۲۰۱۶) پایان‌نامه‌ای با موضوع افزایش امنیت بالگرد دولتی به‌عنوان جزئی از امنیت داخلی در نیروی دریایی مونتری کالیفرنیا ارائه شد. این مطالعه نشان داد که چگونه معافیت واحدهای هوانوردی عمومی از مقررات اداره هوانوردی فدرال یکی از عوامل مؤثر در حوادث بالگرد می‌باشد. این مطالعه از یک تحلیل کیفی برای شناسایی ویژگی‌های رایج در میان سوانح استفاده کرد و سپس به توصیه‌هایی برای جلوگیری از حوادث آتی پرداخت. توصیه‌های ارائه‌شده در بخش آخر پایان‌نامه تکنیک‌ها و راه‌حل‌هایی برای کمک به کاهش ریسک در هوانوردی عمومی ارائه می‌دهد[۱۸].

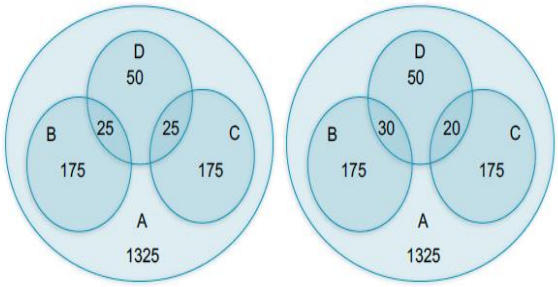
ای‌ام وولدکو (۲۰۱۷) با ارائه مقاله‌ای تحت عنوان تحلیل نرخ سوانح بالگرد به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از ضریب همبستگی پیرسون، تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون تعقیبی توکی استفاده نمود. این مقاله شامل توزیع حوادث پرواز در ارتباط با اقدامات احتیاطی خلبان، شرایط آب و هوایی پیچیده و حوادث پرواز ناشی از قابلیت اطمینان نامطلوب مهندسی هوانوردی می‌باشد. آمار ارائه‌شده در این مقاله، آمارهای جهانی شناخته‌شده را نشان داده است. درعین‌حال نرخ سوانح نسبی مذکور برای بالگردهایی با وزن مختلف (سبک، متوسط و سنگین) و برای بالگردهای همان نوع، به‌طور هم‌زمان در هر دو هدف نظامی و غیرنظامی اهمیت زیادی دارد[۱۹].

واینن و همکاران (۲۰۱۷) مقاله‌ای در خصوص روش‌های تجزیه‌وتحلیل تصادفی مدل‌ها و روش‌های بررسی اصولی سوانح هوایی را ارائه نمودند. آنان در ابتدا تمام روش‌ها و مدل‌های تحلیل تصادفی موجود را آزمایش نمودند تا دریابند که آیا می‌توانند یک روش فراگیر و مشترک بین مدل‌ها بیابند. در این مقاله، از روش‌های آنالیز تصادفی در دامنه‌های مختلف ارائه شده است. آنان دریافتند که روش‌های آنالیز تصادفی در طول ۱۵ سال گذشته بیشترین کاربرد را داشته و این روش به مجموعه‌ای از روش‌ها تبدیل شده است. انجام تجزیه‌وتحلیل با استفاده از یک روش همه‌گیرشناسی، زمان بیشتری را می‌طلبد اما درعین‌حال دلایل اصلی حل این مسئله را پیدا می‌کند که ممکن است مانع وقوع حوادثی در آینده شود. روش‌های سیستماتیک برای سیستم‌های پیچیده مناسب هستند و اجرای چنین روشی زمان و منابع زیادی را می‌طلبد که آن را بسیار پرهزینه می‌کند. شکل ۱ مراحل ایجاد ۶۳ روش از ۱۰۸ پایگاه داده را نشان می‌دهد[۲۰].



شکل ۱- مراحل ایجاد ۶۳ روش از ۱۰۸ پایگاه داده[۲۰]

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود در قسمت (الف) توزیع در نظر گرفته‌شده داده‌ها مشخص شده و در قسمت (ب) نمودارتوزیع واقعی داده‌ها در الگوی واینن تعیین شده است[۲۰].



(ب) (الف)

شکل ۲- (الف) توزیع در نظر گرفته‌شده (ب) نمودار توزیع واقعی[۲۰]

جی‌ام مک کارتی، سی. بیل و جی کلارک (۲۰۱۷) در مقاله‌ای به مدل‌سازی و شبیه‌سازی سوانح بالگرد برای ارزیابی ایمنی سرنشینان پرداخته‌اند تا با ارزیابی دقیق در محیط سقوط و با انتخاب معیارهایی برای بهبود قابلیت بقا که معمولاً نیازمند آنالیز ساختاری مفصل و یک مدل ساختاری با جزئیات است، بپردازند. بااین‌حال، آنان معتقد بودند که بررسی وضعیت سرنشینان بعد از سانحه، بسیار مهم است. این مقاله به بررسی توسعه‌ی مدل ساده برای شبیه‌سازی یک سازه شکسته شده و اثر آن بر روی سرنشینان که به‌عنوان یک گام به سمت توسعه ایمنی و در راستای تجزیه‌وتحلیل تصادفی مفید خواهد بود می‌پردازد[۲۱].

طی تجزیه‌وتحلیل و تأمل قابل‌توجه که توسط گروه کاری محافظت از سرنشینان بالگرد [۵] (ROPWG) (۲۰۱۸) انجام شد به این نتیجه رسیدند که دستورالعمل‌های موجود در بسیاری از بالگردها، استانداردهای حفاظت از سرنشینان را برآورده نمی‌سازند. برای مجهز کردن بالگردها به استانداردهای روز، موانع فنی و اقتصادی وجود دارد که تنها بخش کوچکی از این موانع می‌باشند. در بین مهم‌ترین خطرات جانی در یک سانحه هوایی، احتمال ایجاد حریق پس از سقوط وجود دارد اما می‌توان با استفاده از سوخت مقاوم برطرف شود. به همین ترتیب آسیب‌های مربوط به انسان (بالاتنه) را می‌توان از طریق یک نیاز که محدودیت بالاتنه مناسب در هر محل نشستن فراهم شود، تصحیح نمود[۲۲].

میراژ محمدخان و همکاران (۲۰۱۹) در خصوص تحلیل خرابی اجزای اصلی بالگرد و ارتباط آن با ایجاد سانحه را بررسی نمودند. از ارائه این مقاله، جهت مشخص نمودن دلایل موجود که منتهی به بسیاری از سوانح بالگرد از قبیل عملیات پرواز، وظایف زمینی (برنامه‌ریزی مأموریت و آماده‌سازی)، آموزش و دستورالعمل هستند پی بردند. مقاله حاضر مشاهدات بازرسی غیرمخرب [۶]«NDI» از قبیل نقص مواد، نقص اجزا و سیستم‌های طراحی مربوط به مکانیک شکست را تحلیل نمودند. بر اساس نتایج حاصل از مشاهده بصری، میزان سختی فلز، آلیاژشناسی، آنالیز شکست (خرابی)، ذره مغناطیسی، ضخامت آلتراسونیک و مشاهدات فلورسانس، این‌طور نتیجه‌گیری کردند که سوانح مربوط به خرابی اجزای اصلی متعلقات بالگرد، وجود حالت‌های شکست دینامیکی به علت افزایش فشار بدون هیچ نشانه‌ای از رشد تدریجی ترک ایجاد شده و مشاهدات بازرسی غیرمخرب، هیچ سهمی از خوردگی، ترک‌خوردگی تنشی و یا نقص مواد به سمت شکست نهایی اجزای موردبررسی را نشان نداده‌اند.[۲۳].

۲- روش پژوهش و ابزارها

هدف این تحقیق، شناسایی هر یک از عوامل دخیل در بروز سوانح بالگردی با توجه به میزان تأثیرگذاری آن‌ها و ارزیابی دقیق برای پیشگیری از بروز سوانح می‌باشد. در این مقاله، ابتدا به تشریح تاریخچه پژوهش پرداخته شده است و بر اساس سوابق تحقیقات انجام‌شده، الگویی جامع و یکپارچه برای بهبود سوانح هوایی بالگرد پرداخته می‌شود. همچنین با تجزیه‌وتحلیل داده‌ها نقش عوامل ایجاد سانحه (خطای انسانی، واماندگی سامانه‌ها و عوامل محیطی) و نیز با مقایسه و مطالعات آماری در خصوص ایجاد سوانح، به ثبت نتایج و ارائه پیشنهادهایی در راستای بهبود سطح کیفیت ایمنی بالگرد پرداخته شده است.

به علت اینکه پژوهشگر به دنبال کشف و بررسی روابط بین عوامل و شرایط خاص در بروز سوانح و نتایج حاصل آن‌هاست لذا تحقیق حاضر به روش همبستگی می‌باشد. روش گردآوری اطلاعات: استفاده از کتابخانه، سایت‌های معتبر داخلی و خارجی، اسناد و مدارک موجود و مصاحبه با صاحب‌نظران بوده و جامعه آماری در این تحقیق کلیه افراد آگاه و مطلع که دارای شرایط پرواز ازجمله خلبان، کمک‌خلبان، بازرس فنی، متخصصین عیب-یاب و نفرات تیم بررسی سوانح در بخش بالگردی می‌باشند. روش نمونه‌گیری در این تحقیق به‌صورت خوشه‌ای انتخاب گردیده است. با عنایت به اینکه اکثر بالگردهای موجود در ایران در بخش نظامی فعالیت دارند و ثبت این سوانح دارای طبقه‌بندی نظامی (اسناد و مدارک) می‌باشد لذا محدودیت‌هایی در این خصوص

اعمال گردیده است.

مقاله ارائه شده تلفیقی از مدل ولادیمیر سوشا و همکاران و ترکیبی از دو مدل میراژ محمدخان و همکاران و عارجون رائو و کاران مارایس طراحی‌شده است[۲۳،۱۶،۱۲]. سایر ایده‌های اضافه‌شده برگرفته از تحقیقات پیشین این پژوهش به‌منظور تعیین عوامل ایجاد سانحه بالگرد می‌باشد؛ و به‌منظور نیل به کاهش سوانح و افزایش ایمنی پروازها با استفاده از روند پیشنهادی مطرح شده است. براساس پیشینه پژوهش، تحقیق حاظر جهت ارزیابی و برنامه‌ریزی به‌منظور بهبود ایمنی بالگردها در شرکت‌های هوایی ایران با مطالعه موردی سامانه‌های بالگرد انجام شده است. در ادامه به تفسیر گام‌به‌گام الگوی ارائه شده پرداخته می‌شود.

۳- گام‌های تحقیق

گام ۱: تعیین علل سوانح هوایی بالگرد در حالت کلی (خطای انسانی، واماندگی سامانه‌ها و عوامل محیطی) اولین گامی است که برای طراحی این مدل برداشته می‌شود. این کار با توجه به وظیفه و حساسیت مأموریت تعریف‌شدهٔ بالگرد که در چه شرایط و محیطی باید کار کند، یا با در نظر گرفتن ویژگی‌های درخواست‌کننده، مشخص می‌شود.

گام ۲: پس از گام ۱ نیاز به تعیین نقش هر یک از عوامل در ایجاد سانحه می‌باشد.

گام ۳: پس از گام ۲ نیاز به تعیین نوع و نحوهٔ ارتباط هر یک از آن‌ها به یکدیگر می‌باشد.

گام ۴: پس از گام ۳ نوبت به تعیین ساختار ترکیبی و چیدمان آن‌ها نسبت به یکدیگر می‌باشد.

گام ۵: پس از گام ۴ و با مشخص شدن مسیر، در این مرحله با طرح سؤالی به طراحی مدل جدید یا توسعه مدل قدیمی پرداخته می‌شود.

گام ۶: پس از گام ۵ با طرح سؤالی مبنی بر اینکه آیا به اطلاعات بیشتری جهت دسترسی وجود دارد یا خیر پرداخته می‌شود.

گام ۷: پس از جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز با کمک بانک‌های اطلاعاتی در دسترس به تعیین متغیرهای مذکور پرداخته می‌شود.

گام ۸: این مرحله که یکی از اساسی‌ترین مراحل پیش‌بینی یا محاسبه تعیین علل سوانح هوایی بالگرد به شمار می‌آید، تعیین فاکتورهای ایمنی هر متغیر (خطای انسانی، واماندگی سامانه‌ها و عوامل محیطی) است که درنهایت به فاکتور ایمنی کل بالگرد منجر می‌گردد.

گام ۹: پس از گام ۸ و مشخص شدن فاکتورهای ایمنی هر یک از متغیرها، در خصوص اصلاح خطای انسانی، در این مرحله به تشریح فیزیولوژی پرواز در بخش اثرات فیزیولوژیکی خلبانان و همچنین به قابلیت‌ها و انواع شبیه‌ساز بالگرد (پایه ثابت و تمام متحرک) در بخش مهارت پروازی خلبانان پرداخته می‌شود.

گام ۱۰: شبیه‌ساز تمام متحرک بالگرد از یک‌سو به‌منظور تحلیل‌های ناشی از شرایط اضطراری بالگرد و از سوی دیگر جهت افزایش مهارت خلبانان استفاده می‌شود.

گام ۱۱: پس از گام ۱۰ و نهایی شدن انتخاب نوع شبیه‌ساز بالگرد با توجه به‌تمامی جزئیات، در این مرحله ازنظر خبرگان آن صنعت جهت تکمیل این مرحله بهره گرفته می‌شود.

گام ۱۲: پس از مشخص شدن نوع شبیه‌ساز پیش‌بینی‌شده، با یک رتبه‌بندی، اولویت اجرای اقدامات اصلاحی تعیین می‌شود.

گام ۱۳: در این مرحله به متغیر دوم (واماندگی سامانه‌ها) پرداخته می‌شود و نرخ‌های خرابی قطعات به دست می‌آید.

گام ۱۴: در این مرحله به ریشه‌یابی و آنالیز خرابی (واماندگی) سامانه‌های بالگرد به ترتیب زیر پرداخته می‌شود.

مرحله اول: مرزهای سامانه و الزامات مربوط به آن با جزئیات تعریف می‌گردد.

مرحله دوم: تمامی زیرسامانه‌ها و قطعات سامانه فهرست می‌گردد.

مرحله سوم: تمامی مدهای وقوع خرابی احتمالی قطعه موردنظر، پس از شناسایی و تشریح فهرست می‌گردد.

مرحله چهارم: برای هر مد وقوع خرابی قطعه لازم است تا نرخ وقوع خرابی احتمالی تعیین گردد.

مرحله پنجم: تائید هر مد وقوع خرابی زیرسامانه‌ها نیز مانند کل سامانه فهرست می‌گردد.

مرحله ششم: مشاهدات انجام‌شده برای هر یک از مدهای وقوع خرابی ثبت می‌گردد.

مرحله هفتم: تمامی مودهای وقوع خرابی بحرانی بازنگری می‌شود و متعاقباً اقدامات لازم صورت می‌پذیرد.

این مرحله با کمک ابزار «FMEA» انجام می‌پذیرد. درروش تحلیل سامانه باتوجه به شدت عیوب (وخامت) تعداد عیوب و نحوه شناسایی و تشخیص عیوب (نهان-آشکار) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد و با توجه به میزان خرابی‌ها

رتبه‌بندی می‌شود و سطح ریسک موجود به دست می‌آید که هرکدام با توجه به شدت و تعداد و نحوه تشخیص عددی از یک تا ده می‌باشد[۲۴].

گام ۱۵: در این مرحله تابع احتمال نرخ خرابی سامانه‌ها برحسب زمان که شامل سه دوره و سه ناحیه است پرداخته می‌شود. این مرحله توسط توزیع وایبول، مدل‌سازی می‌شود.

گام ۱۶: در این گام، مقدار «R.P.N»[۷] محاسبه می‌شود. عملکرد اصلاحی مودهای واماندگی انجام شده تا کارایی سامانه بهبود یابد.

گام ۱۷: خرابی و عیوب سامانه طی تحلیل و با تست‌های زمینی و یا پروازهای آزمایشی شناسایی و ارزیابی می‌گردد.

گام ۱۸: تحلیل مودهای واماندگی در مرحله طراحی / تولید تدوین شده سپس مورد آنالیز قرار می‌گیرند تا قابلیت اطمینان پرنده به دست آید.

گام ۱۹: پس از مشخص شدن دلیل خرابی هر قطعه به اقدامات اصلاحی آن پرداخته می‌شود. در این پژوهش، بررسی اقدامات اصلاحی با کمک ابزار «FMEA» به تحقق می‌پیوندد.

گام ۲۰: در این مرحله به متغیر سوم (عوامل محیطی) پرداخته می‌شود. با توجه به اطلاعات ثبت‌شده از قبل، تعداد و نوع سوانح گذشته مربوط به این مرحله احصا شده و تجزیه‌وتحلیل‌های موردی انجام می‌شود.

گام ۲۱: پس از گام ۲۰، اقدام به جداسازی عوامل محیطی به دو بخش: ۱- عوامل مؤثر بر سوانح هوایی ناشی از عوامل محیطی وابسته به بالگرد (صدا، مخاطرات شیمیایی، ارتعاشات ملخ بالگرد، شکست سازه، شتاب و مواد رادیواکتیو) ۲- عوامل مؤثر بر سوانح هوایی ناشی از عوامل محیطی خارج از بالگرد (تشعشع، تغییر در فشار بارومتریک، علل طبیعی، یخزدگی، برخورد با پرندگان، ورود حیوانات و حشرات و اشعه یو وی) پرداخته می‌شود.

گام ۲۲: در این مرحله به ریشه‌یابی و آنالیز خرابی (واماندگی) سامانه‌ها و متعلقات بالگرد در اثر عوامل محیطی پرداخته می‌شود.

گام ۲۳: اقدامات اصلاحی سامانه‌ها بر اساس نتایج به دست آمده انجام می‌شود.

گام ۲۴: در این گام به ریشه‌یابی و آنالیز در خصوص عوامل ایجاد سوانح بالگردی هوانیروز ایران پرداخته می‌شود.

گام ۲۵: اقدامات اصلاحی سامانه‌ها بر اساس نتایج به دست آمده انجام می‌شود.

- **تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان**

تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان (RCM)[۸] روشی برای شناسایی تدابیری است که باید برای مدیریت واماندگی‌ها اجرا شوند تا به‌صورت مؤثر و کارآمد، ایمنی آمادمبه‌کار بودن و بازده مالی مورد انتظار از عملکرد همه انواع تجهیزات به دست آید. این روش فرایند تصمیم‌گیری برای شناسایی الزامات تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مؤثر و کاربردی برای تجهیزات مطابق با پیامدهای ایمنی، عملیاتی، اقتصادی، خرابی‌های قابل‌شناسایی و سازوکارهای فرسایشی مسئول آن خرابی‌ها را فراهم می‌کند. نتیجه نهایی کار از طریق این فرایند، قضاوت در مورد ضرورت انجام نگهداری و تعمیر یا سایر اقدامات مانند تغییرات عملیاتی است. از این روش جهت حصول اطمینان از اجرای کاربردی و مؤثر نگهداری و تعمیر اجرا می‌شود و عموماً طی مرحله طراحی و ساخت به کار گرفته شده و سپس طی بهره‌برداری و نگهداری و تعمیر اجرا می‌شود. این روش مبتنی بر ریسک است و از نوع ارزیابی ریسک، تحلیل حالت خرابی، اثر آن و میزان بحرانی بودن آن است. شناسایی ریسک بر موقعیت‌هایی متمرکز است که خرابی‌های احتمالی را می‌توان با انجام وظایف نگهدار و تعمیر، ازنظر تعداد یا پیامد، حذف نمود یا کاهش داد. این مهم با شناسایی کارکردها و عملکردهای استاندارد موردنیاز و خرابی‌های تجهیزات و قطعاتی که آن کارکردها را مختل می‌کنند، به انجام می‌رسد[۲۵].

تحلیل ریسک شامل برآورد فراوانی هر خرابی بدون انجام نگهدار و تعمیر است. با تعیین اثرات خرابی، پیامد مشخص می‌شوند. یک ماتریس ریسک که تلفیقی از فراوانی خرابی و پیامدهای آن است، امکان دسته‌بندی سطوح ریسک را فراهم می‌کند. سپس ارزشیابی ریسک با انتخاب سیاست مناسب مدیریت خرابی برای هر حالت خرابی اجرا می‌شود. فرایند کلی نگهدار و تعمیر، مبتنی بر قابلیت اطمینان به‌طور گسترده برای ارجاع و بازنگری مستندسازی می‌شود. جمع‌آوری داده‌های مربوط به خرابی و نگهدار و تعمیر، امکان پایش نتایج و اجرای بهبودها را فراهم می‌کند[۲۵].

- **روش تحلیل آثار مودهای وقوع خرابی FMEA**

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. حتی با بررسی دقیق‌تر می‌توان بر اساس آمار، زمان خرابی هر مود را نیز محاسبه و حدس زد. جهت بررسی مودهای واماندگی بالگرد باید به دو جنبه مودهای خرابی سازه‌ای و مودهای خرابی سامانه‌ها توجه کرد. آن‌ها را مورد تحلیل و ارزیابی قرارداد تا از وقوع سوانح جلوگیری کند[۲۶].

شکست یا خرابی سازه مربوط به کاهش تحمل باری جزء سازه‌ای یا یک المان یا سازه‌ای اصلی است. خرابی سازه زمانی شروع می‌شود که سازه تا حد نهایی تحمل و مقاومت خود، تحت تنش قرار گیرد که این باعث تغییر شکل‌های شدید و یا گسیختگی می‌شود. یک بالگرد در طول دوره‌ی عمر خود تحت بارگذاری‌های استاتیکی و آئرودینامیکی زیادی قرار می‌گیرد. این بارگذاری‌ها موجب صدمه و یا تضعیف سازه بالگرد می‌شود که درنهایت باعث ایجاد خرابی می‌گردد[۲۷].

مودهای واماندگی یک سامانه و سازه هم ازنظر طراحی و هم ازنظر نگهداری و تعمیر می‌تواند مورد آنالیز قرار گیرد. از روشFMEA به‌طور گسترده در صنعت برای تحلیل سامانه‌های مهندسی و با محوریت قابل‌اطمینان به کار گرفته می‌شود[۲۶].

تحلیل انواع و اثرات وقوع خرابی FMEA یک روش تحلیل کیفی از پایین به بالای قابلیت اعتماد است که به‌ویژه بامطالعه وقوع خرابی تجهیزات و اثرات آن‌ها در بالاترین سطح‌بندی سامانه قرار دارد، تکرار این گام منجر به شناسایی نهایی تمامی انواع منفرد وقوع خرابی سامانه می‌شود. این روش در تحلیل سامانه‌ها با فن‌آوری مختلف (الکتریکی، مکانیکی، هیدرولیکی، نرم‌افزاری و غیره) با ساختارهای وظیفه‌ای ساده نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد[۲۸].

تحلیل انواع آثار بحرانی وقوع خرابی [۹](FMECA) سبب می‌شود تا FMEA را با کمی نمودن اثرات وقوع خرابی برحسب احتمال رخداد بسط داد. هم‌چنین شدت آثار با ارجاع به یک مقیاس خاص ارزیابی می‌شود[۲۸].

به‌طور خلاصه هر وقوع خرابی را به سه بخش مورد تحلیل قرار می‌دهند:

۱- نشانگان (مود) وقوع خرابی: نشانه‌ای مبنی بر کاهش یا متن خروجی‌ها و یا از دست دادن وظیفه الزام شده و از دست رفتن خروجی سامانه می‌باشد. (مثال: باز بودن مدار)

۲- علت یا علل وقوع خرابی: که می‌توان به مواردی از قبیل ضعیف شدن، لرزش، آلایندگی و یا نوسان ولتاژ در سامانه نام برد.

۳- آثار وقوع خرابی: که به‌عنوان‌مثال می‌توان به مواردی هم چون قطع ارتباط، لغو مأموریت، کاهش کنترل و صدمه یا آسیب رسیدن به افراد و تجهیزات اشاره نمود[۲۸].

خرابی سامانه‌های بالگرد ازجمله سامانه سوخت‌رسانی، سامانه تولید قدرت (پیشرانه)، سامانه الکتریکی، سامانه نشان‌دهنده‌ها، سامانه هیدرولیکی، سامانه کنترل فرامین و غیره را در این حوزه موردبررسی و آنالیز قرار داد 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 اقدام شود. 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[۲۴]. به‌عنوان نمونه مودهای واماندگی سامانه ملخ اصلی بالگرد را می‌توان طبق جدول ۱ به هفت گروه اصلی تقسیم کرد که شرح کامل آن بیان‌شده است[۲۹].

جدول ۱- مودهای خرابی سامانه ملخ اصلی[۲۹]

ردیف	مود خرابی	علل خرابی	اثرات خرابی روی سامانه	اثرات خرابی روی هواپیما	فاز پروازی	کلاس خطر
۱	Let Down	تنظیم نبودن یا خراب بودن متعلقات ملخ اصلی	نابالانسی ملخ اصلی	احساس پله شدن	فرود	جزئی
۲	قفل شدن ملخ اصلی	خراب بودن متعلقات ملخ اصلی	کار نکردن ملخ اصلی	عدم امکان پرواز	همه فازها	فاجعه‌آمیز

۳	اشکال در تأمین Oil pressure	خرابی سامانه روغن	کاهش یا افزایش فشار روغن ملخ اصلی و نشان‌دهنده	بالا رفتن فشار روغن و کاهش فشار روغن ملخ اصلی	همه فازها	خطرناک
۴	خرابی Oil temperature indicator	ایراد گیج فشار روغن Oil Cooler Valve	ایراد ملخ اصلی و متعلقات	کاهش توان ملخ اصلی یا خاموشی ملخ اصلی	همه فازها	خطرناک
۵	مشکل Main Rotor damage	ضربه خوردن	عدم بالانس	لرزش و عدم بالانس بالگرد در پرواز	همه فازها	خطرناک
۶	خرابی Main Rotor Vibation	خرابی ملخ اصلی و سایر قطعات ملخ اصلی	ایراد روی سامانه ملخ اصلی	کاهش ناگهانی دور ملخ اصلی	همه فازها	خطرناک
۷	نشتی روغن از ملخ	خرابی‌های داخلی ملخ	از دست دادن روغن	کاهش فشار روغن	همه فازها	خطرناک

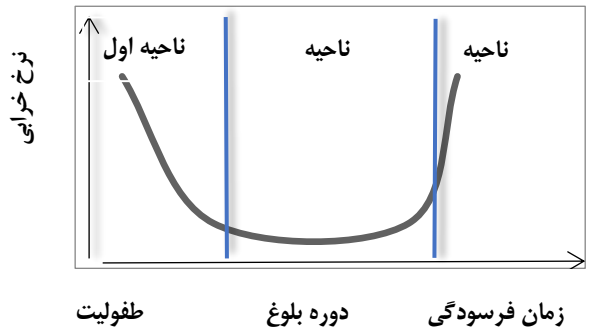
- **تابع احتمال نرخ خرابی**

نرخ خرابی بیانگر احتمال خرابی یک وسیله یا دستگاهی است که در حال کار کردن می‌باشد از منحنی وان حمام برای بیان مفهوم نرخ خرابی استفاده می‌شود. این منحنی در شکل ۳ نشان داده شده است[۲۴].

ناحیه اول: خرابی در این ناحیه اغلب به دلیل مشکلات اولیه در تولید یا کیفیت ضعیف و سستی مود اولیه اتفاق می‌افتد. در این ناحیه مقدار پارامتر β کمتر از یک بوده و خرابی این ناحیه توسط توزیع وایبول، گاما و غیره قابل مدل‌سازی می‌باشد.

ناحیه دوم: در این ناحیه توزیع خرابی کاملاً به‌صورت تصادفی بوده و غیرقابل‌پیش‌بینی است، کارآمدترین دوره عمر هر قلم و سامانه‌ای این دوره محسوب می‌شود. در این ناحیه نرخ خرابی ثابت می‌باشد و مقدار پارامتر β برابر با یک بوده و استفاده از توزیع نمایی که حالت خاصی از توزیع وایبول است برای مدل‌سازی رفتار خرابی قلم/سامانه مقدور می‌باشد.

ناحیه سوم: هنگامی‌که عمر طبیعی قلم/ قطعه رو به پایان باشد و به‌اصطلاح دچار فرسودگی می‌گردد، نرخ خرابی به‌طور فزاینده با گذر زمان افزایش می‌یابد. پارامتر β در این ناحیه بزرگ‌تر از یک بوده و می‌توان از توزیع‌های احتمالی وایبول، نرمال، گاما و غیره استفاده نمود. این ناحیه در تحلیل خرابی‌های سامانه، اهمیت فراوان دارد؛ زیرا که مربوط به تعیین سیاست‌های نگهداری و تعمیر جهت شناسایی مودهای واماندگی و هم‌چنین جلوگیری از وقوع خرابی‌ها می‌باشد[۲۴].



شکل ۳- منحنی وان حمام نرخ خرابی [۲۴]

- **تحلیل R.P.N**

مقدار R.P.N از حاصل‌ضرب عوامل مورد تجزیه‌وتحلیل درروش FMEA به دست می‌آید. رابطه زیر نشان‌دهنده این است که چه عملکرد اصلاحی را باید در مورد مودهای واماندگی انجام دهیم تا کارایی سامانه بهبود یابد[۲۴].

R.P.N =عدد وخامت عیوب × تعداد عیوب × نحوه شناسایی عیوب

مقدار R.P.N با عدد پایین نشان‌دهنده این است که سامانه از عملکرد خوبی برخوردار می‌باشد، عدد به‌دست‌آمده برای R.P.N بین یک تا صد می‌باشد که محدوده ریسک و خطرپذیری یک سامانه را مشخص می‌کند. به‌عبارت‌دیگر R.P.N عدد ریسک‌پذیری سامانه می‌باشد و هرچقدر بزرگ‌تر و نزدیک به ۱۰۰ باشد خطرناک‌تر است و نتیجه می‌گیریم خطر بهره‌برداری زیاد است و مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد[۲۸].

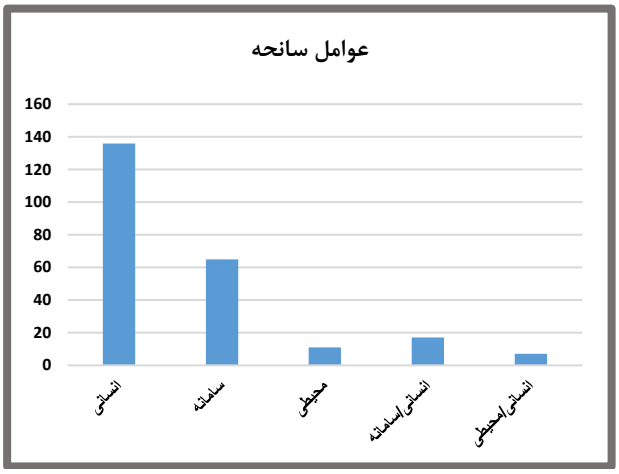
درنهایت خرابی و عیوب سامانه طی تحلیل و با تست‌های زمینی و یا در پروازهای آزمایشی شناسایی و ارزیابی شده تا از تبدیل‌شدن آن به مودهای واماندگی در پرواز که شرایط بحرانی ایجاد می‌کند جلوگیری شود. تحلیل مودهای واماندگی در مرحله طراحی و تولید تدوین و مورد آنالیز قرار می‌گیرد تا قابلیت اطمینان پرنده به دست آید و در زمان بهره‌برداری با توجه به عیوبی که ممکن است رخ دهند و مودهای واماندگی جدیدی ایجاد شود مورد آنالیز دقیق قرار گرفته تا قابلیت اطمینان پرنده با توجه به شرایط جدید عملیاتی، بهبود یابد. پس از مشخص شدن دلیل (دلایل) خرابی هر قطعه زودتر از زمان مورد انتظار، به اقدامات اصلاحی آن(ها) بر اساس پیشنهادات بررسی‌شده از نتایج بررسی‌های انجام‌شده، پرداخته می‌شود[۲۸].

۴- تجزیه‌وتحلیل داده‌های موردمطالعه

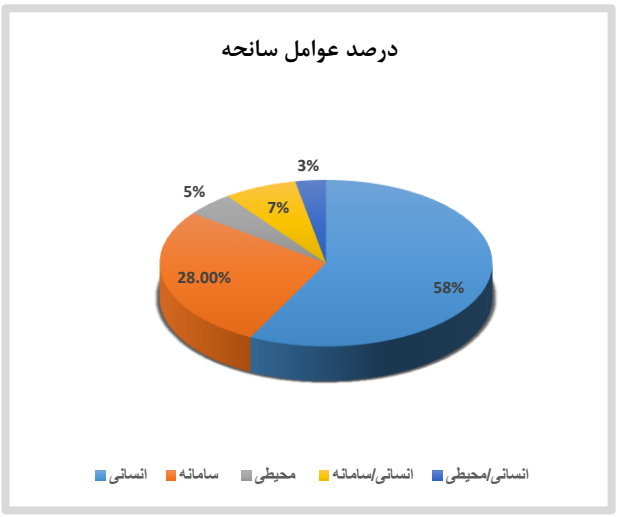
با توجه به ساختار مدل تحقیق، هر یک از عوامل ایجاد سانحه می‌توانند کاندیدای یک عامل بحرانی برای کل سیستم به شمار آیند. بدین منظور، مطابق جدول ۲ با مقایسه‌ی رتبه‌بندی اختلاف عوامل ایجادکننده سانحه پیش‌بینی‌شده به عامل بحرانی سیستم پی برده می‌شود. با مشخص شدن عامل بحرانی سیستم، می‌توان تمرکز بررسی‌ها و پیشنهادات را به‌منظور توسعه و بهبود هر چه بیشتر و بهتر ایمنی برای نیل به کاهش سوانح انجام داد[۲۹].

جدول ۲- اولویت‌بندی عوامل ایجاد سانحه بالگرد[۲۹]

ردیف	شاخص / اجزاء	تعداد سوانح	درصد سوانح	رتبه‌بندی
۱	عامل انسانی	۱۳۶	٪۵۷	۱
۲	واماندگی سامانه‌ها	۶۵	٪۲۸	۲
۳	عوامل محیطی	۱۱	٪۵	۴
۴	عامل مشترک انسانی و واماندگی سامانه‌ها	۱۷	٪۷	۳
۵	عامل مشترک انسانی و محیطی	۷	٪۳	۵
کل سوانح رخ داده‌شده		۲۳۶	٪۱۰۰	-

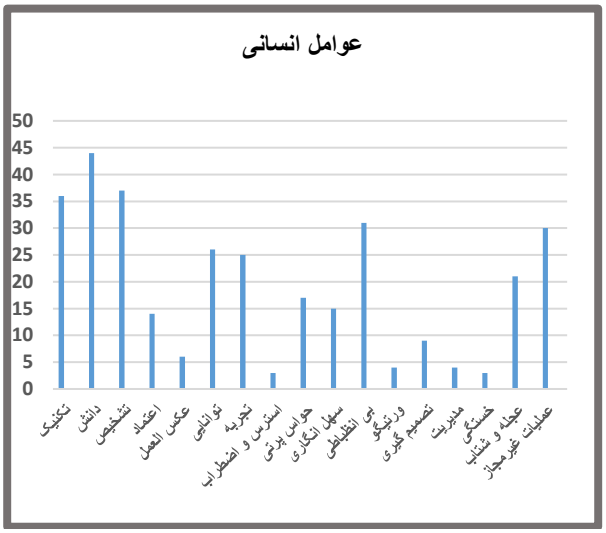


شکل ۴- نمودار تأثیر سهم هریک از عوامل در ایجاد سوانح بالگردی[۲۹]

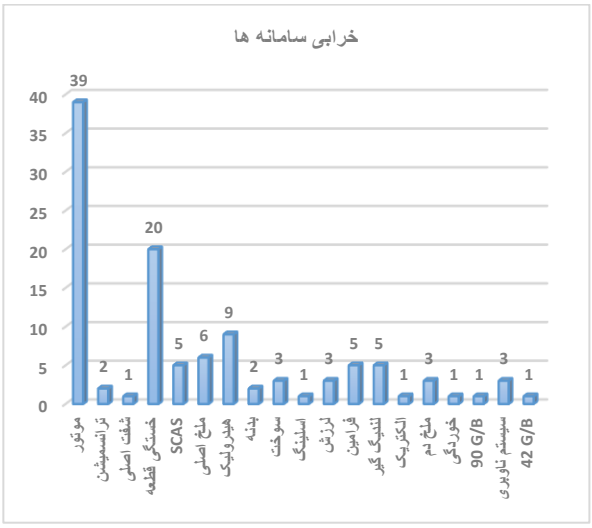


شکل ۵- درصد تأثیر سهم هریک از عوامل در ایجاد سوانح بالگردی[۲۹]

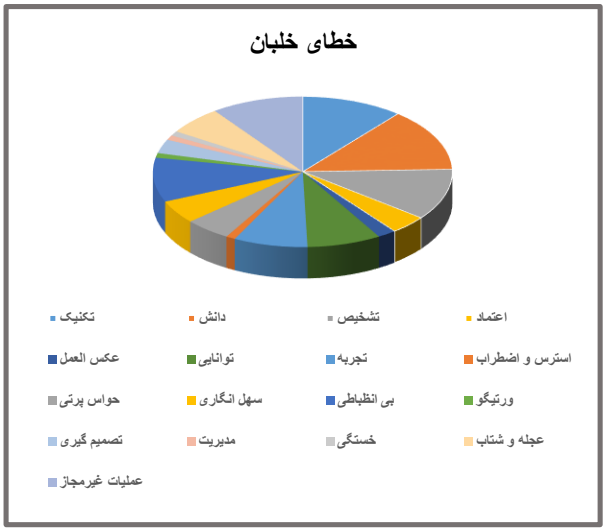
مطابق شکل ۴ و ۵ مشخص می‌شود که عامل انسانی و سامانه‌ها به ترتیب اولین و دومین عواملی هستند که در سوانح بالگردی نقش داشته و فاصله چشم‌گیری نسبت به عامل محیطی دارند. همچنین تعداد ۲ فقره رویداد و سوانح با علت مشترک عوامل انسانی، واماندگی سامانه‌ها و شرایط محیطی بوده که نشان می‌دهد عامل انسانی در بروز رویداد نیز دخیل بوده است؛ بنابراین در کل می‌توان دریافت که عامل انسانی بیشترین سهم را در سوانح بالگرد به خود اختصاص داده است.



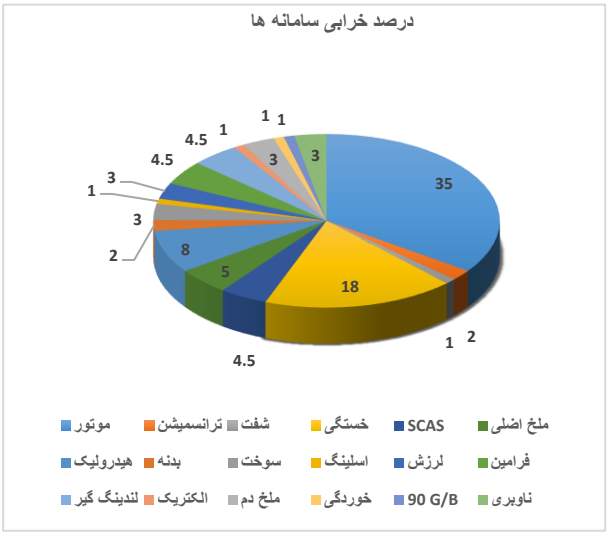
شکل ۶- نمودار عوامل خطای خلبان در ایجاد سوانح بالگردی



شکل ۸- نمودار تأثیر خرابی سامانه‌ها در ایجاد سوانح بالگردی[۲۹]



شکل ۷- درصد تأثیر عوامل خطای خلبان در ایجاد سوانح بالگردی[۲۹]

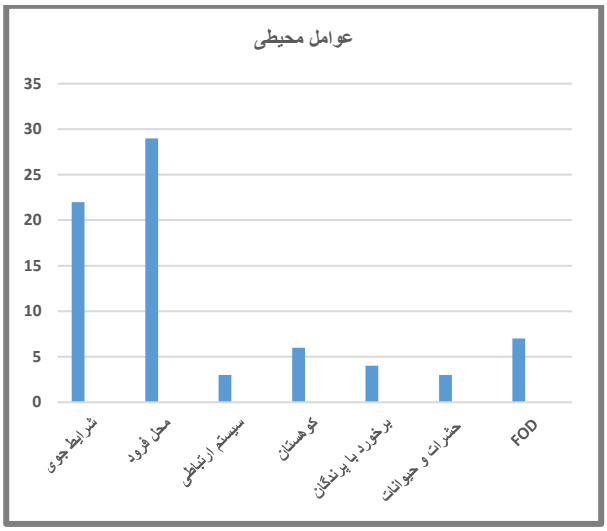


شکل ۹- درصد تأثیر خرابی سامانه‌ها در ایجاد سوانح بالگردی[۲۹]

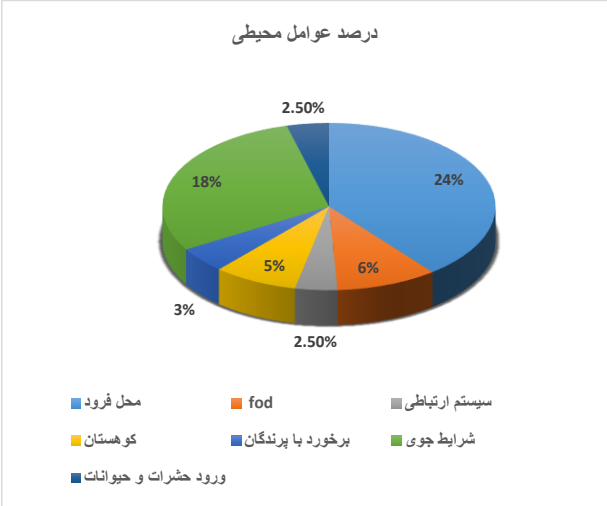
با توجه به شکل ۶ و ۷ و نتایج حاصل مبین این مطلب است که از تعداد کل رویداد و سوانح بالگردی، بیشترین علت مربوط به خطای خلبان، متعلق به عدم‌کفایت دانش پروازی از قبیل: آشنایی با مقدورات و محدودیت‌های وسیله پروازی، آئرودینامیک، هواشناسی، ناوبری، نحوه کار با سامانه‌های بالگرد و مکالمات پروازی می‌باشد.

با توجه به شکل ۸ و ۹ نتایج حاصل مبین این مطلب است که از تعداد کل رویداد و سوانح بالگرد که علل آن‌ها نقص فنی می‌باشد، بیشترین حوادث موجود، مربوط به موتور بالگرد است. نکته قابل‌توجه این است که در طراحی سامانه‌های بالگرد باید نسبت به بهینه‌سازی و تقویت نقاط ضعف آن سامانه اقدام گردد؛ زیرا با توجه به بحرانی بودن آن‌ها، هر یک با توجه به مأموریت کل بالگرد، در یک حادثه‌ی غیرمترقبه می‌توانند با خرابی و قربانی شدن از حوادث بعدیِ به‌مراتب خطرناک‌تر جلوگیری کنند. برای مثال، در هنگام فرود شکستن یک اسکید می‌تواند از برخورد بدنه بالگرد به زمین و آسیب‌های به‌مراتب خطرناک‌تر و

شدیدتر ازلحاظ جانی و مالی جلوگیری کند. محدودیت‌های مذکور، مراحل طراحی و تولید را پشت گذاشته است؛ حال آن‌که این موضوع، به‌تنهایی می‌تواند عاملی انگیزشی در راستای بازنگری مراحل طراحی و تولید این‌گونه از محصولات تلقی گردد. به‌عنوان‌مثال، طراحی یک پرندهٔ جنگنده در یک برههٔ زمانی خاص، تولید آن می‌تواند با توجه به تکنولوژی در دسترس همان مقطع زمانی تأثیر قابل‌توجهی در جهت افزایش هزینه‌ها داشته باشد یا به تعبیر دیگر به لطف پیشرفت دستاوردهای تکنولوژیکی از ساخت یک محصول که به‌طور مستقیم در روش‌های تولید و هزینه‌های ناشی از آن تأثیر می‌گذارد؛ این انگیزه و منطق را به وجود می‌آورد تا به بازنگری محصولات طراحی‌شده در گذشته منجر شود؛ اما می‌توان به‌مراتب اقتصادی‌تر و باکیفیت‌تر از قبل طراحی و تولید نمود، در ادامه نیز با بررسی‌های انجام‌گرفته توسط تحلیل‌های جامعی در خصوص ریشه‌یابی علل عوامل محیطی که مهم‌ترین دلایل مربوط به شرایط نامساعد جوی، «FOD»[۱۰] و شرایط محل فرود می‌باشد که درنهایت منجر به سانحه بالگرد می‌شوند، انجام شده است.



شکل ۱۰- نمودار تأثیر عوامل محیطی در ایجاد سوانح بالگردی[۲۹]



شکل ۱۱- درصد تأثیر عوامل محیطی در ایجاد سوانح بالگردی[۲۹]

باتوجه به شکل ۱۰ و ۱۱ نتایج حاصل مبین این مطلب است که از تعداد کل رویداد و سوانحی که علل آن‌ها عوامل محیطی بوده بیشترین حوادث موجود مربوط به شرایط محل فرود و کمترین آن مربوط به ورود حشرات و حیوانات به داخل سیستم‌های بالگرد و سیستم ارتباطی می‌باشد که مهم‌ترین دلایل ایجاد رویدادها و سوانح در خصوص شرایط محل فرود، عدم ساخت پد استاندار جهت فرود بالگرد بوده و مهم‌ترین دلایل ایجاد رویدادها و سوانح در خصوص شرایط جوی، فقدان سامانه پیش‌بینی هوا بر روی بالگرد است؛ و مهم‌ترین دلایل ایجاد رویدادها و سوانح در خصوص گردوخاک و «FOD» مهیا نکردن و عدم پاک‌سازی محل فرود بالگرد می‌باشد؛ و همچنین مهم‌ترین دلایل ایجاد رویدادها و سوانح در خصوص پرواز کوهستان به شرح ذیل می‌باشند:

۱- ضعف و عدم آموزش کافی
۲- بعضاً کم‌تجربگی خلبانان
۳- حواس‌پرتی و عدم دقت به موانع موجود در زمان فرود
۴- برآورد نادرست سرعت، ارتفاع، چگالی هوا و قدرت موتور در زمان فرود
۵- عدم استفاده از چارت‌های بالگرد برای محاسبه شرایط جوی
۶- نامناسب بودن و عدم امکانات کافی محل فرود بالگرد
۷- عجله و شتاب‌زدگی خلبانان در زمان فرود
۸- پافشاری خلبانان برای نشاندن بالگرد در محل موردنظر حتی در شرایط غیرممکن
۹- آگاهی نداشتن خلبانان به محل فرود بالگرد

۱۰-خستگی و موارد فیزیولوژیکی کروی پرواز
۱۱-شرایط نامساعد جوی
۱۲-عدم‌تشخیص درست سرعت و جهت باد و مبادرت به فرود باوجود باد پشت

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- عوامل مؤثر در سوانح بالگرد با ارائه الگوی ارائه شده شناسایی و در این تحقیق بحث و بررسی شده‌اند.
- دستیابی به ۳ اولویت‌بندی عوامل مؤثر در بروز سوانح بالگردی و اجرای پیشنهادات ارائه‌شده جهت نیل هرچه سریع‌تر به ایمنی هدف انجام گردید.
- با مقایسه عوامل ایجادکننده سوانح بالگرد، پی به اولویت‌بندی اول (عامل انسانی) که دلالت بر بیشترین سهم عامل سانحه داشته و با توسعه آموزش و بهبود مهارت در هر دو بخش خدمه پرواز و کارکنان فنی می‌تواند حائز اهمیت باشد. با توجه به بالا بودن نرخ سوانح براثر خرابی سامانه‌ها می‌توان اذعان داشت که این عامل در اولویت دوم قرار دارد و سپس عامل محیطی، رتبه سوم اولویت‌بندی را به خود اختصاص داده است.
- نتایج حاصل مبین این مطلب است که از تعداد کل رویداد و سوانح بالگردی، بیشترین علت مربوط به خطای خلبان، متعلق به عدم‌کفایت دانش پروازی و کمترین آن مربوط به خستگی، استرس و اضطراب است.
- جهت کاهش سوانح هوایی بالگرد در بخش عامل انسانی در حوزه کروی پروازی، با بهره‌گیری از شبیه‌سازهای مدرن و پیشرفته می‌توان حالات اضطراری بالگرد را تمرین نمود.
- با استفاده از ابزار هوش مصنوعی و فضای مجازی می‌توان ضمن افزایش مهارت خلبانان میزان سوانح را تا حد زیادی کاهش داد.
- با بررسی دقیق علل بروز سوانح و تجزیه‌وتحلیل عملکرد کارکنان فنی - پروازی و ارائه آنالیزی که در مورد مودهای واماندگی در این پژوهش صورت گرفته می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش دقت در فرایند آموزش کارکنان فنی و پروازی، هم‌چنین دقت در بازرسی‌های فنی و بازرسی‌های قبل از پرواز توسط خلبانان و دقت به دستورالعمل‌های ایمنی در طول پرواز، می‌توان نرخ بروز سوانح را تا حد قابل قبولی کاهش داد.
- نتایج حاصل مبین این مطلب است که از تعداد کل رویداد و سوانح که علل آن‌ها خستگی قطعات بالگرد تشخیص داده شده که بیشترین آن‌ها مربوط به لندینگ‌گیر و اسکیدها و کمترین آن مربوط به فرامین و کنترل می‌باشد.
- در این پژوهش سعی گردید تا با شناسایی عیوب پرتکرار و مخاطره‌آمیز بالگردها، عیوب مشاهده‌شده را به تفکیک سامانه‌های الکترومکانیکی، الکترونیکی، مکانیکی و غیره دسته‌بندی نمود تا درنهایت مودهای خرابی هر سامانه به‌طور جداگانه مشخص گردد و با بررسی دقیق این مودهای خرابی و نقش آن در عملکرد ایمنی بالگرد به تجزیه‌وتحلیل کلی مودهای واماندگی پرداخته شود.
- نتایج حاصل مبین این مطلب است که از تعداد کل رویداد و سوانح که علل آن‌ها نقص فنی تشخیص داده شده است مربوط به موتور بالگرد و سپس کمترین آن‌ها مربوط به شفت اصلی، سیستم اسلینگ، سیستم الکتریک، خوردگی، گیربکس‌های ۹۰ درجه و ۴۲ درجه بشمار می‌آید.
- نقص در طراحی یا عدم توجه به طراحی صحیح متعلقات سامانه‌های بالگردها باید به‌عنوان یک فرضیه همواره مورد توجه قرار گیرد تا در بازرسی‌ها و اصلاحات، حین تعمیر و نگهداری ارتقاء یابد.
- طراحی باید به‌گونه‌ای باشد که تعداد نقاط آسیب‌پذیر که در صورت تکرار به یک نقص پرریسک تبدیل می‌شود و به‌عنوان یک مود واماندگی می‌تواند ایمنی بالگرد را کاهش دهد به حداقل برساند.
- در این تحقیق مشاهده گردید که از تعداد کل رویداد و سوانح در خصوص عوامل محیطی، بیشترین حوادث موجود، مربوط به شرایط محل فرود و سپس کمترین آن‌ها مربوط به ورود حشرات و حیوانات به داخل سیستم‌های بالگرد و سیستم ارتباطی می‌باشد.
- باوجود تحریم‌های اقتصادی از جانب کشورهای متخاصم و افزایش هزینه‌های ناشی از آن که خود می‌تواند در تصمیم‌گیری خرید یک وسیله حمل‌ونقل هوایی نقش کلیدی داشته باشد؛ بنابراین هر سازمان می‌تواند با در نظر گرفتن سوانح و سوابق موجود در بخش نگهداری و تعمیر و

با بهره‌گیری از تجربیات گذشته از میزان اشتباهات مجدد خطاهای انسانی بکاهد.

- شرایط نامساعد جوی حاکم بر مناطق پروازی که منجر به خرابی سامانه‌ها و یا شکست قطعات و متعاقب آن موجب صدمات جانی و مالی می‌گردد. لذا اجرای این رویکرد می‌تواند نقش مثبت در کاهش هزینه‌های مربوط به تجهیزات و نیز جلوگیری از حوادث جبران‌ناپذیر و هزینه‌های مربوطه داشته باشد.
- طراحی و ساخت یک سیستم هشداردهندهٔ دائمی در هنگام استال ملخ بالگرد (وازدگی ملخ اصلی) که یکی از رایج‌ترین علل بروز سوانح بالگرد در زمان انجام مانور فرود در کوهستان می‌باشد، نیاز بوده و مورداستفاده قرار گیرد.
- با توجه به اینکه صنعت هوایی یکی از صنایع بسیار گران و حساس محسوب می‌شود لذا هر هزینه‌ای که در خصوص اقدامات پیشگیرانه صورت پذیرد هزینه‌زا محسوب نمی‌شود و باعث جلوگیری از خطرات جانی و مالی بیشتر می‌شود. به‌عنوان‌مثال، اگر در هنگام جابجایی قطعات یدکی از انبار قطعات به خط تولید یا مونتاژ در قسمت نگهداری و تعمیرات، قطعه‌ای از لیفتراک یا هر وسیلهٔ حمل‌کنندهٔ دیگری به زمین افتاد، آن قطعه باید به آزمایشگاه‌های مربوطه جهت تشخیص عیوب احتمالی ارجاع و در صورت نیاز، رفع عیب یا از خط تولید و مونتاژ مردود گردند؛ و آن‌که با یک سهل‌انگاری ساده، برای کاهش هزینه‌های نگهداری و تعمیر بدون آنکه این قطعات به آزمایشگاه‌های مربوطه ارجاع داده شوند، به خط تولید ارسال شوند و درنهایت منجر به حادثه‌های غیرقابل‌جبران جانی و مالی می‌گردد.
- ثبت دقیق ایرادات توسط خلبانان و تکنسین‌های فنی در حین پرواز و هم‌چنین تجزیه‌وتحلیل منظم و شناسایی عیوب پرتکرار و مخاطره‌آمیز می‌تواند کمک شایانی جهت شناسایی آسان‌تر مودهای واماندگی احتمالی که در زمان طراحی و کشف عیوب سیستماتیک در نظر گرفته نشده است، بنماید.
- جهت کاهش سوانح هوایی، خلبانان می‌بایست علاوه بر مطالعه پیش‌بینی‌های هواشناسی قبل از پرواز از تجهیزاتی همچون گیرنده‌های ماهواره‌های هواشناسی و رادارهای هواشناسی قابل‌نصب بر روی وسایل پرنده استفاده نمایند.
- طراحی یک سیستم جامع استخدامی جهت ارتقاء شغل و حرفه کارکنان و بهره‌مندی از نیروهای جوان و فاقد تجربه در کنار تکنسین‌های مجرب باعث می‌گردد تا شکاف سنی و حرفه‌ای نیروهای در حال خدمت از یکدیگر کاهش یافته و به‌سادگی حجم عظیم اطلاعات و تجارب انتقال یابد.
- فرهنگ‌سازی رعایت اصول استانداردها و ایجاد علاقه در کارکنان، خود می‌تواند راهکاری مناسب در جهت کاهش اشتباهات و خطاهای انسانی باشد.
- به‌طورکلی در راستای کاهش تلفات جانی و مالی ناشی از خطاهای صورت گرفته، آموزش‌های صحیح تئوری و عملی، رعایت اصول استانداردها و نکات ایمنی و نیز اقدامات به‌موقع جهت تعویض و تعمیر قطعات در بخش نگهداری و تعمیر می‌توان به میزان زیادی ایمنی پرواز را ارتقا داد.
- با توجه به این‌که تاکنون درزمینه شناسایی مودهای واماندگی بالگرد هیچ‌گونه تحقیق جدی انجام نشده است لذا محتویات این مقاله را می‌توان به‌عنوان یک مرجع کلی در بحث شناسایی مودهای واماندگی و تأثیر آن روی بالگردها دانست تا محققان بتوانند در پژوهش‌های آینده از آن بهره‌برداری نمایند.
- جهت آشنایی دانشجویان هوانوردی با حوزه‌های نظارت و کنترل جهت جلوگیری از سوانح و رویدادهای هوایی در ریشه برنامه‌های آموزشی گنجانده شود.
- دوره‌های عرضی و کارگاه‌های آموزشی در خصوص عوامل مؤثر در بروز سوانح و رویدادها برای مسئولین ایمنی و تیم پیشگیری سوانح هوایی لحاظ گردد تا ضمن به‌روزآوری نقاط ضعف و قوت مدل‌های موجود احصاء و نحوه تحلیل سوانح با رویکرد این مدل جدید آموزش داده شود.
- مدل مطروحه در مقطعه کارشناسی ارشد دانشگاه‌ها (بررسی سوانح و صلاحیت‌های پروازی) آسیب‌شناسی شده و نواقص احتمالی آن برطرف گردد.
- مبادی ذی‌نفوذ در بررسی سوانح و رویدادهای هوایی ضمن بازنگری عوامل مؤثر در بروز سوانح هوایی، مدل پیشنهادی را آسیب‌شناسی نمایند تا بر این اساس در آینده مدل جامع‌تری برای بررسی‌کنندگان سوانح و رویدادهای پروازی ارائه گردد.
- الگوی جامع و یکپارچه ارائه شده در این تحقیق نواقص مدل‌های موجود مطالعات پیشین را تحت پوشش خود قرار داد.

پی‌نوشت‌ها

۱	Failure Modes and Effect Analysis
۲	Safety Managment System
۳	National Transportation Safety Board
۴	Instrument Meteorological Conditions
۵	Rotorcraft Occupant Protection Working Group
۶	Non Destructive Inspection
۷	Risk Priority Number
۸	Reliability Center Maintenance
۹	Failure Modes Effect Critical Analysis
۱۰	Foreign Object Damage

منابع و مراجع

[۱] فراهانی، علیرضا، (پاییز ۱۳۹۶)، *اهمیت و نقش آموزش*، اصفهان، گاهنامه علمی - پژوهشی پژوهان، انتشارات مرکز آموزش هوانیروز، شماره ۳، چاپ اول.

[۴] فرشاد، علی‌اصغر، (پاییز ۱۳۹۷)، *سلامت شغلی*، تهران، انتشارات فن‌آوران.

[۹] ملکوتی‌خواه، حامد، (۱۳۹۰)، *طراحی و ساخت جاذب دینامیکی برای کاهش صدای یک هواپیمای توربوپراپ*، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده مکانیک، انتشارات هواپیماسازی ایران.

[۱۰] فرهمند، محمد، (۱۳۹۳)، *ارزیابی و برنامه‌ریزی جهت بهبود قابلیت اطمینان بالگرد در شرکت هواپیماسازی ایران*، اصفهان، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، گروه صنایع.

[۱۴] شاهانی، امیررضا، (پاییز ۱۳۹۴)، *تحلیل اطلاعات آماری و مدل‌سازی قابلیت اطمینان ملخ بالگرد با در نظر گرفتن حالت‌های چندگانه‌ی واماندگی*، تهران، انتشارات دانشگاه شریف، دانشکده مهندسی مکانیک، دوره ۳۱-۳، شماره‌ی ۲.

[۱۵] شاهمیری، فرید، (۱۳۹۵)، *ارتعاشات انتقالی از ملخ بالگرد به بدنه*، اصفهان، انتشارات دانشگاه آزاد خمینی‌شهر، دانشکده هوافضا.

[۲۴] محمدی مقدم، مجید؛ نور الهی، علیرضا، (۱۳۹۴)، *تحلیل و بررسی سوانح هوایی*، تهران، انتشارات دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، دانشکده هوافضا.

[۲۵] حاجی حسینی، علیرضا، (۱۳۸۹)، *مهندسی خطای انسانی*، تهران، انتشارات فن‌آوران.

[۲۶] رمضانی زاده، مهدی؛ نائینی، علیرضا، (۱۳۹۱)، *بررسی سوانح هوایی*، تهران، انتشارات دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، دانشکده هوافضا.

[۲۷] موسی پور، محسن؛ محمدی، حبیب، (۱۳۸۷)، *اهمیت بررسی و پیشگیری سوانح هوایی*، تهران، انتشارات دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، دانشکده هوافضا.

[۲۹] پوررمضانعلی، اکبر، (۱۳۹۹)، *شناسایی عوامل مؤثر در بروز سوانح بالگردی و ارائه راه‌کارها جهت کاهش سوانح*، به راهنمایی: حشمت‌الله محمدخانلو، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، کارشناسی ارشد، دانشکده هوافضا.

[2]. Ben-Daya, M. Duffuaa, S. O. Raouf. A. Knezevic, J. Daoud & Ait-Kadi, D. (Eds). (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering* (VOL 7). London: Springer London.

[3]. Walter Beech Olive & Ann Beech Ted A. Wells (February 20, 2013). Hawker Beechcraft Corporation Celebrates, 75th Anniversary, American Management Technology, Wichita, Kansas, Raytheon Company, Goldman Sachs, Textron Aviation, United States, beechcraft.txtav.com/en.

[5]. Roy G. Fox (September 26–29 2005). *The History of Helicopter Safety*, Montreal, Quebec, Canada, Bell Helicopter Textron, Inc, Fort Worth, Texas, Presented at the International Helicopter Safety, Symposium.

[6]. Richard I. Chais & William E. Simpson (2015). *Investigation of Technology Needs for Avoiding Helicopter Pilot Error Related Accidents Final Report*, ORI, Inc, R ockville, Maryland, Prepared for NASA Office of Aeronautics and Space Technology under Contract NASW-3554, Scientific and Technical, Information Branch.

[7]. Mark Huber (since 2005). *Aviation International News, AIN Alerts, NBAA Convention News and HAI Convention News*, aviation industry veteran, the publications of the Convention News Company, Airbus Delivers H145D3 to Norwegian Air Ambulance.

[8]. Alex de Voogt (September 2007). *Helicopter accidents: Data-mining the NTSB databas*e, Maastricht University, Netherlands.

[11]. Anthony Fokkerweg (2014). *The Potential of Technologies to Mitigate Helicopter Accident Factors*, Amsterdam, Netherlands, EHEST Study, Customer: National Aerospace Laboratory NLR, 1059 CM.

[12]. Vladimír Socha, Luboš Socha, Stanislav Szabo & Vladimír Němec (October 2014). *Air accidents, their investigation and prevention*, Czech Technical University in Prague.

[13]. Mobolaji Stephens & Wilfred Isioma Ukpere (January 2014). *An Empirical Analysis of the Causes of Air Crashes from a Transport Management Perspective*, Article in Mediterranean Journal of Social Sciences, Federal University of Technology, Akure, University of Johannesburg.

[16]. Arjun H Rao & Nicoletta Fala (January 2016). *Analysis of Helicopter Maintenance Risk from Accident Data*, Airport Safety Database View project, Collins Aerospace, Oklahoma State

University – Stillwater.
[17]. Sebastian Marian Zaharia (2016). *Reliability Testing and Failiure Analysis Spar Structure of Helicopter Rotor Blade*, Transilvania University of Brasov, Romania.
[18]. William Denis Fitzgerald, Jr (December 2016). *Enhancing Public Helicopter Safety as a Component of Homeland Security*, Naval Postgraduate School, Monterey, California, Approved for public release.
[19]. A.M. Volodko (2015). *Cause-factor analysis of helicopter accident rate*, Moscow, Russia, Research Institute of aircraft maintenance.
[20]. H.C.A. Wienen, F.A. Bukhsh, E. Vriezekolk & R.J. Wieringa (2017). *Accident Analysis Methods and Models a Systematic* Literature Review, Amsterdam, Netherlands.
[21]. J.M. Mc Carthy, C. Bil & G. Clark (2017). *Modelling and simulation of helicopter accidents for occupant survivability assessment*, School of Aerospace, Mechanical and Manufacturing Engineering, RMIT, University, Melbourne, Victoria, Australia.
[22]. Final Analysis Report to the Aviation Rulemaking Advisory Committee (ARAC), Task 6, Revised (September 27, 2018). *Rotorcraft Occupant Protection Working Group (ROPWG)*, USA**,** Federal Aviation Administration publishers.
[23]. Miraj Muhammad Jan, Abdoulhdi Borhana & Zarak Khan (January 2019). *Failure Analysis of Crashed Helicopter Main Components*, Islamabad, Pakistan, Journal of Multidisciplinary Approaches in Science (JMAS).
[28] A.M. Briepohl (1970). *Probabilistc systems Analysis*, John Wliey.