

تحلیل حوادث و سوانح وخیم هوانوردی غیرنظامی ایران از ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۰ با استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی و تصمیم‌گیری چند شاخصه

امیرحسین ملکجهان نصرتی^۱، علی حسین زاده کاشان^{۲*}، بختیار استادی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت سیستم و بهره‌وری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۷)

چکیده

از زمانی که انسان شروع به پرواز و ساخت هواپیماهای مختلف کرده است، حوادث و سوانح بوقوع پیوسته، همواره صدمات و خسارات جبران‌ناپذیری به دنبال داشته‌اند. بنابراین امروزه، فعالین صنعت هوانوردی به خصوص شرکت‌های حمل مسافر با صرف منابع زیاد، به صورت مداوم به دنبال حداکثر نگه‌داشتن سطح ایمنی فعالیت خود و کاهش نرخ بروز این وقایع هستند. در این پژوهش، با تحلیل گزارشات و اطلاعات در دسترس برای ۴۶ مورد حادثه و سانحه وخیم هوانوردی غیرنظامی ایران در بازه سال‌های ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۰، پس از انجام ارزیابی‌های آماری-تحلیلی، با استفاده از تکنیک‌های تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی و تصمیم‌گیری چند شاخصه، به بررسی عوامل دخیل در آن‌ها مانند خطاها و خرابی‌ها پرداخته می‌شود. جامعه آماری این پژوهش شامل پنیلی از خبرگان و متخصصین حوزه هوانوردی و سوانح هوایی بوده و برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از پرسشنامه استفاده شده است. برطبق نتایج تحقیق، عامل انسانی مهم‌ترین عامل دخیل، هواپیمای فوکر ۱۰۰ درگیرترین نوع هواپیما و خلبانان با سن و تجربه کمتر، مستعدترین عوامل در بروز این وقایع بوده‌اند. همچنین خرابی در ارباه فرود و موتور و همچنین، خطای خلبان به موجب عدم پیروی از دستورالعمل‌ها به عنوان مهم‌ترین حالات خطا و خرابی معرفی شده‌اند.
واژه‌های کلیدی: حوادث و سوانح وخیم هوانوردی، ایمنی، تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی، تصمیم‌گیری چند شاخصه

Analysis of Iran's Serious Civil Aviation Crashes and Incidents from 1979 To 2021 Using Failure Mode and Effects Analysis and Multi- Attribute Decision Making Methods

Abstract

Since humans have begun to fly and construct various aircraft, the occurred crashes and incidents have always resulted in irreparable injuries and damages. Therefore, today, aviators especially airlines continuously are trying to maintain the maximum level of safety and reduce the rate of crashes by spending resources. In this research, by analyzing the available reports and information for 46 accidents and serious crashes in Iran's civil aviation between 1979 and 2021, first, a statistical-analytical evaluation is performed, then influential factors like failures and errors in these occurrences are analyzed by using failure mode, effects analysis, and multi-attribute decision making. Findings suggest that human is the most important factor, Fokker100 is the most engaged aircraft, pilots with low ages and experiences are the most vulnerable factors in the mentioned occurrences. Besides, failures in landing system and engines as well as the pilot error in not following the structures were the most important factors.

Keywords: *Serious aviation crashes and incident, Safety, Failure modes and effects analysis, Multi-attribute decision making*

مقدمه

در سالیان اخیر، به دلیل پیشرفت‌های اقتصادی، صنعتی و اجتماعی کشورهای جهان، اهمیت جابه‌جا کردن مسافران و محموله‌ها افزایش قابل توجهی داشته است. در میان همه سیستم‌های حمل و نقل، حمل و نقل هوایی محبوب‌ترین، امن‌ترین و پیشرفته‌ترین سیستم است به طوری‌که امروزه یک سیستم هوانوردی پیشرفته و دقیق، می‌تواند به طور مستقیم با داشتن یک جامعه موفق مرتبط باشد. با گسترش سیستم حمل و نقل هوایی، افزایش تعداد فرودگاه‌ها و تجهیزات، و بهبودها در طراحی و تولید هواپیماها، می‌توان گفت که روزانه هزاران نفر مسافر و صدها تن بار بوسیله هواپیماهای کوچک و بزرگ میان شهرها، کشورها و حتی قاره‌ها جابه‌جا می‌شوند.

مانند هروسيله‌ی ديگري که به دست بشر ساخته شده است، هواپیماها نیز تعداد زیادی حادثه^۱ و سقوط‌های فاجعه‌آمیز داشته‌اند که منجر به تلفات انسانی بی‌شمار و صدمات مالی هنگفت شده و حتی در موارد قلیلی این وقایع^۲ منجر به بحران‌های اجتماعی شده‌اند. وقایع هوانوردی طیف وسیعی دارند؛ از یک ترکیدگی لاستیک تا سقوط‌ها و برخورد‌های دو هواپیما همه و همه در حیطه وقایع ناگوار هوانوردی طبقه‌بندی می‌شوند. امروزه شرکت‌های هواپیمایی و محققین، منابع زیادی مانند پول، زمان و نیروی انسانی صرف می‌کنند تا از وقوع این رویدادهای ناخواسته جلوگیری کرده و یا نرخ وقوع آن‌ها را کاهش دهند؛ با توجه آنچه گفته شد، بررسی حوادث و سوانح^۳ هوایی باید به طور پیوسته ادامه داشته باشد.

در چهار دهه پیش از این، هوانوردی ایران صنعتی به‌روز و ایمن بود اما در سه دهه اخیر، سیستم هوانوردی کشورمان به دلیل مشکلات اقتصادی، تحریم‌ها، ناوگان فرسوده، ضعف‌های مدیریتی موجود و غیره با چالش‌های زیادی روبرو بوده است به طوری که سوانح و حوادث فراوانی در طول تاریخ این صنعت اتفاق افتاده که بر اثر آن‌ها علاوه بر میلیون‌ها دلار خسارت مالی وارده به کشور و شرکت‌های هواپیمایی، تا آذر سال ۱۳۹۸، تعداد ۲۱۵۲ از هموطنانمان جان خود را از دست داده‌اند. بنابراین، با توجه به اشکال ۱ تا ۳ این تحقیق، تحلیل وقایع و بهبود ایمنی در یک چنین سیستمی اهمیت دوچندانی داشته و حیاتی به نظر می‌رسد.

یکی از رویکردها برای رویارویی با این رخدادهای ناخواسته، روش واکنشی است که برای انجام اقدامات پیشگیرانه

بعد از وقوع یک آسیب بکار گرفته می‌شود و کارایی آن در جلوگیری از وقایع هوایی براساس تحلیل ماهیت قبلی آن‌ها است. از نقطه‌نظر پیشگیرانه، نرخ وقوع حوادث و سوانح هوایی می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد اگر قبل از وقوع یک رویداد جدی، خطاها و خرابی‌ها به طور موثری شناسایی شده باشند. تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی^۴ (FMEA) یکی از تکنیک‌های محبوب برای تشخیص و تحلیل عوامل موثر مانند خطاها و خرابی‌ها در ارزیابی یک سیستم است؛ همچنین بوسیله این تکنیک، علل محتمل این عوامل، پیامدها، درجه بحرانیته^۵ و رتبه‌بندی نهایی برای تعیین اقدامات مناسب، مشخص می‌شوند. به دلیل ضعف‌های تکنیک کلاسیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی به خصوص در رتبه‌بندی بوسیله عدد اولویت ریسک^۶ (RPN)، در این پژوهش از تکنیک تصمیم‌گیری چند شاخصه^۷ (MADM) راه‌حل مصالحه ترکیبی^۸ (CoCoSo) برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر استفاده شده است.

بنابراین در این تحقیق، مروری خواهد شد بر حوادث و سوانح وخیم^۱ هوانوردی غیرنظامی ایران در بازه سال‌های ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۰؛ بعد از آن، خطاها، خرابی‌ها و علل آن‌ها که در رخ‌دادن این وقایع موثر بوده‌اند استخراج شده و سپس با استفاده از ارزیابی‌های آماری-تحلیلی مهم‌ترین عوامل، راهکارها و پیشنهادات در مورد این حوزه معرفی می‌شوند. در بخش اصلی این پژوهش نیز با استفاده از عدد اولویت ریسک محاسبه شده در تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی، به رتبه‌بندی این عوامل و تحلیل بحرانیته آن‌ها پرداخته و پس از آن عوامل مورد نظر با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند شاخصه نیز رتبه‌بندی می‌شوند. در بخش نهایی تحقیق نیز، مقایسه‌ها و یافته‌ها معرفی شده و پیشنهادات و نتایج تحقیق تعیین می‌شوند.

ساختار این تحقیق به این صورت است که در بخش‌های پیش‌رو در ادامه این پژوهش، در بخش دوم مروری خواهیم داشت بر ادبیات این حوزه و پژوهش‌های پیشین انجام شده. در بخش سوم مفاهیم پایه‌ای حوزه ایمنی و تحلیل سوانح هوایی معرفی خواهد شد. در بخش چهارم جزئیات رویکرد پیشنهادی برای این تحقیق تشریح می‌شود. در بخش پنجم نتایج این تحقیق معرفی شده و در بخش آخر نتیجه‌گیری‌ها نمایش داده می‌شوند.

مرور ادبیات موضوع

به دلیل وجود جنبه‌های وسیع در این موضوع، تحقیقات زیادی در زمینه‌های مختلف با استفاده از تکنیک‌های مختلف برای تحلیل وقایع در هوانوردی انجام شده است. سرینویسان و همکاران [۱] در پژوهش خود تلاش کردند تا حوادث و سوانح هوایی سطح یک مسافربری را با داده‌کاوی^{۱۱} و یادگیری ماشین^{۱۲} طبقه‌بندی کنند. این تحقیق بر شناسایی الگوهای موجود در توالی رویدادها و همچنین روایات موجود در متن-های خام که می‌تواند برای پیش‌بینی یک موقعیت نامطلوب بالقوه استفاده شود، تمرکز داشت. بدین منظور آنان ۱۷۷۸ گزارش متنی ساختار نیافته از سوانح و حوادث را تا سال ۲۰۱۹ از پایگاه داده هیئت ملی ایمنی حمل و نقل^{۱۳} آمریکا استخراج کرده و آن‌ها را به کمک تکنیک جاسازی کلمات^{۱۴} به داده‌های ساختاریافته تبدیل کردند. در این تحقیق، سه نوع طبقه‌بندی صفر و یکی وجود دارد، حوادث در مقابل سوانح، صدمه در مقابل عدم صدمه و مرگ و میر در مقابل عدم مرگ و میر.

داندچی و عثمان [۲] در پژوهش خود، به کمک تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی^{۱۵}، خرابی‌های متداول سیستم‌های فرود در صنعت هوافضا را مورد بررسی قرار دادند. برای مقابله با ضعف‌های تکنیک مذکور، آن‌ها از سیستم فازی^{۱۶} و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^{۱۷} استفاده کردند. در این تحقیق، ۳۵ خبره با تکمیل پرسشنامه مورد نظر مشارکت کردند و در نهایت، ۱۰ مورد از خرابی‌های متداول در این حوزه شناسایی و رتبه‌بندی شده، تحلیل بحرانیت انجام گرفته و با روش‌های مختلف ارزیابی شدند.

اگوئیلا و همکاران [۳] در تحقیق خود، سعی کردند با استفاده از نقشه‌های شناختی فازی^{۱۸} علل سوانح هوایی را بیابند. آنها علل مورد نظر را در سه دسته کلی عوامل انسانی، شرایط هواپیما و شرایط پرواز تقسیم‌بندی کردند؛ همچنین در این تحقیق دو ماژول اصلی مورد استفاده قرار گرفت، در ماژول اول با استفاده از تکنیک داده کاوی، ضمن تحلیل گزارش‌های سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا^{۱۹} و سیستم گزارش ایمنی هوانوردی^{۲۰} در مورد وقوع سوانح، مفاهیم کلیدی که علل سوانح هستند، از آنها استخراج می‌شود و ماژول دوم با استفاده از نقشه‌های شناختی فازی، روابط علت و معلولی بین این مفاهیم را تعیین می‌کند. نتایج این تحقیق نشان داد که خرابی‌های هواپیما در وهله اول، خطاهای خلبان در مرحله بعد

و سپس مسائل زیست محیطی مهم‌ترین عوامل بروز سوانح گزارش شده بوده است.

جهانگشایی و یوسفی [۴] در کار خود، با استفاده از نقشه‌های شناختی فازی، ریسک‌های فرودگاه را به عنوان یکی از عناصر کلیدی در هوانوردی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در پژوهش مذکور، نویسندگان با استفاده از مصاحبه، پرسشنامه، جلسات طوفان فکری، مرور ادبیات، ریسک‌های موجود در فرودگاه شهر ارومیه را شناسایی کردند که شامل ۲۹ مورد بوده است. پس از آن، روابط بین این ریسک‌ها و شاخص‌های اندازه‌گیری شامل هزینه، ایمنی پرواز و زمان مشخص شده و گراف مربوطه رسم شده است. در مرحله بعد با توجه به اثراتی که هر ریسک بر شاخص‌های اندازه‌گیری داشته است و با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های ضعیف^{۲۱} ریسک‌های شناسایی شده را رتبه‌بندی کردند، مهم‌ترین این موارد عبارتند از: کمبود آموزش کارکنان، حمل و نقل‌های نامناسب زمینی و تجهیزات کمک ناوبری غیر فعال و نامناسب.

یزدی و همکاران [۵] در پژوهش خود، ضمن معرفی یک شماتیک ساده از سیستم فرود هواپیما، که شامل کامپیوتر، کلیدها و سوئیچ‌ها می‌شود، به تحلیل حالات خرابی این سیستم می‌پردازند. با توجه به کمبودهای موجود در محاسبه عدد اولویت ریسک^{۲۲} سنتی در مطالعات قبلی، این تحقیق از تصمیم‌گیری گروهی در یک محیط فازی استفاده می‌کند. در نهایت برای ۱۰ حالت خرابی شناسایی شده، مقادیر عدد اولویت ریسک به روش سنتی و روش پیشنهادی تحقیق محاسبه و سپس رتبه‌بندی‌های به‌دست‌آمده بین دو روش مقایسه شد. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق نشان می‌دهد که ادغام تئوری مجموعه‌های فازی و تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی نتایج بهتر و قابل اعتمادتری را به همراه داشته است.

صیادی و همکاران [۶] حالات و عوامل خرابی را برای حوزه مدیریت دانش در شرکت نفت و گاز خوزستان با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی بر پایه نظریه مجموعه‌های فازی شهودی^{۲۳} تحلیل کرده‌اند. در این پژوهش مجموعه‌ای از عوامل خرابی اثرگذار در حوزه مدیریت دانش براساس بررسی ادبیات موضوع و پژوهش‌های مشابه استخراج شدند. پس از آن، با انجام مصاحبه با خبرگان صنعت، ۱۶ عامل خرابی اثرگذار در پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت دانش شناسایی شدند و در نهایت با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل

تعاریف دقیق واداشت. مفهوم یک واقعه در صنعت هوانوردی می‌تواند تعاریف مختلفی و یا حتی طیف وسیعی از حالات در میزان اثر و صدمات داشته‌باشد؛ از نزدیکی خطرناک دو هواپیما به یکدیگر در فضای فرودگاه تا سقوط‌های فاجعه‌بار، همه‌ی این وقایع می‌توانند به عنوان حادثه، سانحه و یا یک وضعیت غیر ایمن در صنعت هوانوردی شناخته شوند. در ادامه این بخش ما مفهوم وقایع در هوانوردی را تعریف خواهیم کرد، همچنین برای معرفی انواع مختلف این وقایع و دسته‌بندی‌های موجود، از منابع مختلفی مانند اسناد سازمان بین‌المللی هوانوردی غیرنظامی^{۲۶} (ایکائو) و هیئت ملی ایمنی حمل و نقل استفاده می‌شود.

طبقه‌بندی تعاریف براساس ضمیمه شماره ۱۳ ایکائو

امروزه، به دلیل پیچیدگی و حساسیت هوانوردی غیرنظامی، برای رویارویی با وقایع این حوزه مفاهیم و دستورالعمل‌های دقیقی وجود دارد. ایکائو، دقیق‌ترین و اصلی‌ترین مرجع در تعریف، تحلیل و اقدام در مورد وقایع مورد نظر است.

استانداردها و شیوه‌های توصیه شده برای تحقیقات سوانح هواپیما برای اولین بار در ۱۱ آوریل ۱۹۵۱ توسط شورا مطابق ماده ۳۷ کنوانسیون هوانوردی بین‌المللی غیرنظامی (شیکاگو، ۱۹۴۴) به تصویب رسید و به عنوان پیوست ۱۳ این کنوانسیون تعیین شد. استانداردها و شیوه‌های توصیه شده بر اساس توصیه‌های بخش بررسی تصادفات در اولین جلسه آن در فوریه ۱۹۴۶ است که بیشتر در جلسه دوم این بخش در فوریه ۱۹۴۷ توسعه یافت [۸].

ضمیمه ۱۳ ایکائو یک رویه و دستورالعمل جامع را برای اعضای خود ارائه می‌کند و به آن‌ها توصیه می‌کند که طبق سند با وقایع برخورد کنند. تا مارس ۲۰۱۹، تعداد ۱۹۳ کشور از جمله تقریباً همه ملل متحد، به عنوان عضو به این کنوانسیون ملحق شده‌اند. سند مذکور مشتمل بر موضوعات مختلف و اقدامات لازم است که در هنگام وقوع حادثه یا سانحه باید در نظر گرفته شود، همچنین این سند تعاریف و کاربردها، روش بررسی وقایع و نکات مهم، گزارش‌دهی و دستورالعمل‌های نتیجه‌گیری را شرح می‌دهد. این بدان معناست که این سند اعضا را قادر می‌سازد تا از تجربیات یکدیگر استفاده کنند، بر روی یک طرح استاندارد پیش بروند و

حالات و اثرات خرابی و تاپسیس فازی شهودی^{۲۴} به بررسی اهمیت هریک از آنها پرداخته شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که عدم وجود مشارکت از جانب مدیریت و رهبری به عنوان مهم‌ترین عوامل شناسایی شدند. جعفرزاده و همکاران [۷] به ارزیابی حالات خرابی در توربین‌های بادی پرداخته‌اند؛ در این پژوهش، با استفاده از روش راه‌حل مصالحه‌ای ترکیبی و مجموعه‌های فازی کروی^{۲۵} ضمن ارائه یک مدل جدید اصلاح شده برای رفع ضعف‌های تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی در حالت سنتی، به بررسی یافته‌ها پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که تلفیق روش تصمیم‌گیری چند معیاره در این حوزه می‌تواند منجر به نتایج قابل قبول‌تری در اولویت‌بندی خرابی‌های متداول در یک سیستم داشته باشد.

مبانی نظری

وقایع در هوانوردی غیر نظامی

با وجود پیشرفت‌های تکنولوژیکی و مهندسی، هواپیماهای امروزی دارای مدرن‌ترین، دقیق‌ترین و مستحکم‌ترین تجهیزات و فناوری‌ها هستند، با وجود این، هواپیماهای امروزی را می‌توانیم یک شاهکار بی‌بدیلی از علم و استعداد در نظر بگیریم. با این حال، سازندگان این هواپیماها، روزبه‌روز پیشرفت کرده و دستاوردهای خود را در بهبود طراحی و توسعه محصولات معرفی می‌نمایند؛ این دستاوردها عموماً در جهت ارتقا ایمنی و قابلیت اطمینان در پروازها است. از منظر دیگر، می‌توان گفت که سیستم ایمنی در حمل و نقل هوایی، یکی از پیشرفته‌ترین و جامع‌ترین سیستم‌ها در بین صنایع مختلف است. همانطور که می‌دانیم، عملیات سیستم هوانوردی غیرنظامی برپایه‌ی دستورالعمل‌ها، الزامات و رویه‌های جامع و دقیقی است که توسط همه کشورها تا حد ممکن اجرا می‌شوند. این سیستم ایمنی در همه بخش‌های مرتبط با هوانوردی مانند پرواز، کنترل ترافیک هوایی، امور زمینی و غیره وجود دارد که به طور منظم، نظارت و بازرسی می‌شوند.

از زمانی که بشر از وسائل نقلیه برای جابه‌جایی انسان‌ها و محموله‌ها استفاده کرد، وقایعی مرتبط با این وسائل وجود داشته که منجر به صدمات مالی و انسانی شده‌اند. هوانوردی نیز به نوبه خود تعداد بی‌شماری از این دسته وقایع را در بخش‌های نظامی و غیر نظامی تجربه کرده است. وجود این وقایع در طول تاریخ فعالیت این صنعت، هوانوردان را به بنانه‌دان الزامات و

دسته‌بندی تعاریف بر اساس سند دسته‌بندی سوانح هوانوردی^{۲۹}

ایکائو به همراه تیم ایمنی هوانوردی تجاری^{۳۰} که متشکل از مقامات دولتی و رهبران صنعت هوانوردی است، به طور مشترک تیم طبقه‌بندی اشتراکی^{۳۱} را تشکیل دادند. این تیم مسئول توسعه طبقه بندی ها و تعاریف مشترک برای سیستم های گزارش حوادث و سوانح هوایی بود. طبقه‌بندی‌ها و تعاریف مشترک برای بهبود ظرفیت جامعه هوانوردی برای تمرکز بر مسائل ایمنی همگانی در نظر گرفته شده است. این تیم، شامل کارشناسانی از شرکت‌های هواپیمایی، سازندگان هواپیما، سازندگان موتور، انجمن‌های خلبانی، مقامات نظارتی، هیئت‌های ایمنی حمل‌ونقل، ایکائو و اعضای از کانادا، اتحادیه اروپا، فرانسه، ایتالیا، ژاپن، هلند، بریتانیا و ایالات متحده است. تیم طبقه‌بندی اشتراکی توسط یک نماینده از ایکائو و یک نماینده از تیم ایمنی هوانوردی تجاری ریاست می‌شود.

"واقعه" به عنوان "حادثه یا سانحه" در سراسر این سند تعریف شده است. این موضوعات شامل سوانح یا حوادثی هستند که در پیوست ۱۳ کنوانسیون بین‌المللی هوانوردی غیرنظامی تعریف شده است که شامل هواپیماهای سرنشین‌دار یا هواپیماهای بدون سرنشینی می‌شود که دارای تأییدیه طراحی و/یا عملیاتی هستند.

به طور کلی، سوانح و حوادث تنها در درجه صدمات وارده به افراد درگیر یا آسیب وارده به هواپیما متفاوت است. در این سند، هر دسته دارای یک نام و شناسه منحصر به فرد برای سهولت کدگذاری رایج در سیستم‌های سانحه/حادثه، یک تعریف متنی و یادداشت‌های مفید برای شفاف‌سازی دسته و کمک به کدگذاری وقایع است.

یکی از عناصر مهم در طراحی دسته‌بندی وقایع این است که امکان ارتباط چند دسته با یک رخداد را فراهم می‌کند؛ به این معنا که، برای مثال، اگر یک مورد خرابی موتور رخ دهد، و به دنبال آن کنترل هواپیما از دست برود، این واقعه در هر دو دسته کدگذاری می‌شود. کدگذاری چندگانه از تمرکز اصلی تیم پیشگیری از تصادف پشتیبانی می‌کند که در آن هر عنصر مربوطه باید بررسی، ثبت و تجزیه و تحلیل شود. گروه بندی خلاصه‌شده دسته‌ها در این سند به صورت جدول ۱ می‌باشد. لازم به ذکر است که هر گروه و زیرگروه به تفصیل در سند ارجاع شده توضیح داده شده است [۹].

برای رسیدگی موثرتر به رویدادهای ذکر شده ارتباطاتی مفید برقرار کنند.

در این بخش، طبق سند ضمیمه شماره ۱۳ ایکائو و ادبیات مرتبط با این حوزه، ۵ نوع مختلف از وقایع هوانوردی غیرنظامی را به صورت زیر تعریف می‌شود:

حادثه: واقعه‌ای مربوط به عملیات یک هواگرد که در بازه زمانی سوار شدن هر شخص به هواگرد با نیت پرواز تا زمانی که همه اشخاص پیاده شده‌اند، روی می‌دهد و در آن:

الف) شخصی در نتیجه بودن در هواگرد یا برخورد مستقیم با هر تکه از هواگرد یا در معرض مستقیم دمش جت قرار گرفتن به طور مہلک یا شدید آسیب دیده به جز وقتی که آسیب‌ها از دلایل طبیعی، خودزنی یا دیگرزنی نشات گرفته یا وقتی که آسیب‌ها به مسافرین قاچاق پنهان شده در خارج از قسمت‌های مختص مسافرین و کادر پرواز، وارد آید.

ب) هواگرد دچار خسارت یا نقصان ساختاری شده به طوری که بر مقاومت ساختاری، کارایی یا خصوصیات پروازی هواگرد تأثیرات نامطلوب دارد، یا نیاز به تعمیر یا تعویض اساسی اجزا متاثر دارد.

ج) هواگرد گم شده یا کاملاً غیرقابل دسترسی است.

سانحه: رویدادی مربوط به عملیات هواگرد به غیر از حادثه که بر ایمنی عملیات اثر دارد یا می‌تواند اثر داشته باشد که لیستی از انواع این سوانح در سند ۹۱۵۶ (نظام‌نامه گزارش سانحه/حادثه) موجود است.

سانحه وخیم: سانحه‌ای که در آن شرایط به گونه‌ای است که نشان می‌دهد وقوع یک حادثه نزدیک بوده است. تنها تفاوت میان حادثه و سانحه وخیم، نتیجه آن است. مثال‌هایی از سوانح وخیم در سند ۹۱۵۶ موجود است [۸].

وقایع زمینی^{۲۷}: هرگونه رویداد مرتبط با بخش‌های زمینی فرودگاه، خطوط هوایی و ماشین آلات و تجهیزات مربوطه که منجر به خسارات و صدمات شوند.

ایرپراکس^{۲۸}: یا مجاورت هوایی به حالتی گفته می‌شود که در آن از نظر خلبان یا پرسنل کنترل ترافیک هوایی، فاصله هواپیما و همچنین موقعیت و سرعت نسبی آنها به حدی بوده است که ایمنی هواپیمای مورد نظر به خطر افتاده است.

لازم به ذکر است که در این تحقیق، دسته‌های حوادث و سوانح وخیم مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی

تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی اولین بار در سال ۱۹۶۰ توسط ناسا در فرآیند تولید فضاپیما آپولو ۱۱ استفاده شد. این تکنیک وقوع ریسک‌های محتمل را در یک سیستم یا محصول تعیین می‌کند و همچنین یک رویکرد پیشگرا در مقابل خطاها و خرابی‌ها را در یک سیستم معرفی می‌کند. با این روش قادر هستیم که حالات خرابی، علل و پیامدهای این ریسک‌ها را تعیین و برحسب اهمیتشان رتبه‌بندی نماییم. انواع مختلفی از تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی مانند سیستم، طراحی، فرآیند، ابزار و خدمات وجود دارند که می‌توانند در محیط‌های مختلف استفاده شود. در این روش حالات خرابی شامل شکستن قطعات و اجزا یا عدم کارکرد صحیح آن‌ها، خطاهای انسانی و اقدامات نادرست و هر ریسک بالقوه دیگری که ممکن است در سیستم مورد مطالعه وجود داشته باشند، هستند. تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی یک تکنیک رسمی اما ذهنی است که به صورت سیستماتیک حالات خرابی و علل ریشه‌ای را شناسایی کرده و ریسک مرتبط با آن‌ها را محاسبه می‌کند.

از منظر دیگر، این تکنیک ما را به سمت قابلیت اطمینان بیشتر، کیفیت بیشتر و ایمنی بیشتر سوق می‌دهد؛ همچنین می‌توان از آن برای بهینه کردن برنامه‌های نگهداری و تعمیرات نیز استفاده کرد. تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی معمولاً توسط یک تیم از پرسنل طراحی، نگهداری تعمیرات و ... که در موضوعات مورد نظر تجربه و تخصص دارند، انجام می‌شود. این تکنیک از سه معیار شدت اثر (S)، وقوع (O) و قابلیت تشخیص (D) استفاده کرده و مقادیر عددی را به هر ریسک اختصاص می‌دهد؛ این مقادیر عدد اولویت ریسک نامیده می‌شوند و از ضرب سه معیار مذکور مطابق رابطه (۱) بدست می‌آیند. لازم به ذکر است که هرچه این مقدار برای یک ریسک بیشتر باید، ریسک مورد نظر اهمیت و اولویت بالاتری بدست می‌آورد. معیار شدت اثر دلالت بر بزرگی اثر نهایی ریسک مورد نظر بر روی سیستم مربوطه دارد به طوری که پیامدهای بدتر برای یک ریسک مقدار بالاتری برای این معیار کسب می‌کنند. معیار وقوع به احتمال رخ دادن یک ریسک دلالت دارد که به صورت کیفی تفسیر می‌شود و در نهایت معیار قابلیت تشخیص به احتمال تشخیص یک ریسک قبل از وقوع دلالت دارد.

جدول ۱- دسته‌بندی وقایع براساس سند سوانح هوانوردی

گروه	زیر گروه
در طول پرواز	مانور نامناسب ایرپراکس/ هشدار TCAS/ از دست دادن جدایی در میان هوا برخورد/ برخورد میان هوا پرواز کنترل شده به طرف زمین مشکلات مربوط به سوخت رویدادهای مرتبط با بکسل گلايدر از دست دادن کنترل در طول پرواز از دست دادن نیروی لیفت در مسیر علمیات در ارتفاع پایین خطاهای ناوبری پرواز ناخواسته در IMC
هواپیما	دود/ آتش (حاصل از عاملی غیر از ضربه یا سقوط) خرابی یا کارکرد نامناسب سیستم/ مولفه (به جز بخش تامین نیرو) خرابی یا کارکرد نامناسب سیستم/ مولفه (مربوط به بخش تامین نیرو)
عملیات‌های زمینی	تخلیه کردن دود/ آتش (پس از ضربه یا سقوط) برخوردهای زمینی سایر امور زمینی از دست دادن کنترل بر روی زمین خطاهای ناوبری هجوم به باند ^{۳۲} انحراف یا خروج از انتهای باند ^{۳۳} حیات وحش
عوامل متفرقه	پرنده‌گان رویداد مرتبط با ایمنی کابین وقایع مرتبط با بارهای خارجی مشکلات پزشکی موارد مرتبط با امنیت موارد ناشناخته یا مشخص نشده
غیر مرتبط با هواپیما	فرودگاه ATM/CNS
فرود/ برخورد	تماس غیرعادی با باند برخورد با موانع در حین فرود یا برخورد بیش از حد/ کمتر از حد ^{۳۴}
آب و هوا	یخ زدگی برخورد با طلایم ^{۳۵} برش باد ^{۳۶} یا رعد و برق‌ها

۷- تحلیل بحرانیت و ارائه نتایج: در مرحله نهایی، عوامل بحرانی، یافته‌ها و توصیه‌ها مشخص می‌شوند. لازم به ذکر است که توضیحات بیشتر در خصوص استفاده از این تکنیک در بخش نتایج تحقیق ارائه شده‌است.

راه حل مصالحه ترکیبی

همانطور که در بخش‌های قبل ذکر شد، تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی کلاسیک چندین ضعف و ناکارآمدی عمده در فرآیند و محاسباتش دارد مانند عدم در نظر گرفتن ارتباط بین معیارها، در برخی موارد بدست آمدن مقادیر یکسان عدد اولویت ریسک برای دو یا چند حالت خرابی و موارد دیگر. محققین تکنیک‌ها و روش‌های مختلفی را برای مقابله با این نقاط ضعف استفاده می‌کنند که یکی از پر کاربردترین آن‌ها در این حوزه، تصمیم‌گیری چند شاخصه است که برای بهبود نتایج بدست آمده استفاده می‌شود. تصمیم‌گیری چند شاخصه بخش بزرگی از تحقیقات عملیاتی است که به مدیران کمک می‌کند تا براساس شاخص‌های مختلف و گاهی متعارض تصمیم‌گیری کنند. در یک چنین تصمیم‌گیری‌هایی چندین معیار یا هدف که گاهی اوقات متناقض نیز هستند، در نظر گرفته می‌شود. در مسائل مدیریتی که مدیران با معیارهایی که مقیاس‌های مختلفی برای اندازه‌گیری دارند، سر و کار دارند و گاهی متناقض با یکدیگرند، استفاده از این دست روش‌ها به شدت مفید است.

راه حل مصالحه‌ای ترکیبی یکی از جدیدترین روش‌ها در حوزه تصمیم‌گیری چند شاخصه است که در سال ۲۰۱۸ توسط یزدانی و همکاران [۱۰] معرفی شد. در این روش یک راه حل مصالحه‌ای ترکیبی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها فراهم می‌شود. الگوریتم استفاده از این روش در ادامه معرفی شده است: ۱- ایجاد ماتریس تصمیم: قدم اول در اکثر تکنیک‌های تصمیم‌گیری، تشکیل ماتریس تصمیم مورد نظر است. با فرض اینکه X_{mn} ماتریس تصمیم باشد، معادله (۲) ماتریس مورد نظر را نمایش می‌دهد که در آن m گزینه‌های تحقیق و n معیارهای مدنظر را معرفی می‌کنند.

$$X_{ij} = \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{m1} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

به دلیل استفاده گسترده از این تکنیک در صنایع مختلفی مانند اتوموبیل سازی، هوافضا، هسته‌ای و الکترونیکی، استانداردهای مختلفی نیز بر حسب کارکردشان برای آن‌ها ایجاد شده‌است. محبوب‌ترین استاندارد در این حوزه MIL-STD-1629A است که در سال ۱۹۸۰ توسط دپارتمان دفاع ایالات متحده آمریکا معرفی شد. در سه دهه گذشته، این استاندارد برای ارزیابی خرابی‌ها و ریسک‌ها در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. فرآیند انجام تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی به شرح زیر است:

۱- تعریف پروژه و مفاهیم: قبل از آنکه روند رسمی این تکنیک آغاز شود، باید سیستم مورد مطالعه به جزئیات شرح داده شود. هر اطلاعاتی که لازم است در این فرآیند در نظر گرفته شود باید در این مرحله مشخص شود.

۲- انتخاب تیم و گرداندنده: تیم تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی باید شامل خبرگانی با تجربیات و اطلاعات مرتبط با موضوع مورد بررسی باشد. این خبرگان می‌توانند از بخش‌های تحقیق و توسعه، طراحی، نگهداری و تعمیرات و ... انتخاب شوند؛ تعداد اعضای تیم نیز معمولاً بین ۵-۷ نفر در نظر گرفته می‌شود. گرداندنده و هماهنگ کننده این تیم نیز در این مرحله تعیین می‌شود.

۳- جمع‌آوری و طبقه‌بندی اطلاعات و مستندات مورد نیاز: در این مرحله، همه اطلاعات و مستنداتی که ممکن است در فرآیند انجام این تکنیک، مورد نیاز تیم واقع شود، باید جمع‌آوری و طبقه‌بندی شوند.

۴- تعریف معیار و مقیاس‌های امتیازدهی: باید برطبق استاندارد مورد استفاده، برای هر معیار یک مقیاس امتیازدهی مناسب به همراه تعاریف و ویژگی‌های واضح و مشخص، تعیین شود.

۵- برگزاری جلسات و تکمیل کاربرگ‌ها: جلسات تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی باید با حضور اعضای گرداندنده تیم برگزار شده، فرم‌ها و کاربرگ‌های مربوطه توزیع شده و با همفکری تیم تکمیل شوند.

۶- محاسبه عدد اولویت ریسک و رتبه‌بندی عوامل: بعد از جمع‌بندی نظرات اعضای تیم، مقادیر اعداد اولویت ریسک محاسبه شده و برطبق مقادیر بدست آمده، ریسک‌ها اولویت‌بندی می‌شوند.

اسم جهانی ایران ایر^{۳۸} شناخته می‌شد، بنانهاده شد و در طول سالیان اندک، تبدیل به یکی از بهترین و امن‌ترین شرکت‌های هواپیمایی جهان شد. اولین حادثه رسمی هوانوردی تجاری ایران در سال ۱۳۵۸ مربوط به یک فروند بوئینگ-۷۲۷ سری ۱۰۰ با شماره رجیستر EP-IRD بود که در حوالی تهران اتفاق افتاد و متأسفانه ۱۲۸ نفر در این سقوط جان باختند. بنابر اطلاعات موردنظر، تا آذر ۱۳۹۸ به طور رسمی، ۲۱۵۲ نفر در حوادث و سوانح این صنعت جان خود را از دست داده‌اند.

در طول سه دهه گذشته، صنعت هوانوردی ایران با مشکلات و چالش‌های متعددی مانند مشکلات اقتصادی، ناکارآمدی بخش مدیریت، تحریم‌های بین‌المللی، عدم توان خرید هواپیماهای جدید، متوسط بالاتر از استاندارد سن ناوگان فعال و موارد دیگر روبرو بوده است. این مشکلات باعث شده‌اند که این صنعت، نایمن‌تر و آسیب‌پذیرتر شود؛ به طوری که در طول بازه مذکور، موارد زیادی از سقوط‌های هولناک و حوادث شدید بوقوع پیوسته‌اند که منجر به تلفات و خسارات فراوان شده‌اند. از طرف دیگر، برطبق گزارشات ایکائو، نرخ سوانح و نقص‌های فنی رخ داده در ایران به طور قابل ملاحظه‌ای از میزان میانگین جهانی بالاتر است. شکل ۱، نرخ حوادث را در ایران در مقایسه با میزان جهانی در بازه سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۱ میلادی نشان می‌دهد و همچنین شکل ۲ و شکل ۳ میزان مرگ و میر و حوادث را نسبت به هر سال نمایش می‌دهند [۱۱].

برطبق گزارشات ایران ایر، امروزه تقریباً نیمی از هواپیماهای موجود در صنعت هوانوردی ایران به دلایل فنی و غیرفنی مختلف مانند کمبود قطعات یدکی مورد نیاز به دلیل تحریم‌های بین‌المللی، ضعف‌های مدیریتی و غیره، زمین‌گیر و غیرفعال هستند؛ بنابراین در سالیان اخیر، تکنسین‌ها و هوانوردان با مشکلات عدیده‌ای روبرو بوده‌اند. تا خرداد ماه سال ۱۴۰۱، هواپیماهای فعال در ایران شامل ۲۴۳ فروند از نوع‌های مختلف بوده‌اند که تعداد دقیق آن‌ها در جدول ۲ ذکر شده است. همچنین لازم به ذکر است که ۱۱۶ فرودگاه نظامی و غیرنظامی فعال در ایران وجود دارد که تحت نظارت شرکت فرودگاه و ناوبری هوایی ایران فعالیت می‌کنند.

لازم به ذکر است که در برخی موارد، فرودگاه‌های فعال در ایران، به دلیل مشکلات مشابهی با ناوگان هواپیمایی ایران، دچار مشکلات و چالش‌های زیادی در فعالیت‌ها و عملیات‌های

۲- نرمال کردن ماتریس تصمیم: در این مرحله برای نرمال‌سازی معیارهای مثبت از معادله (۳) و برای معیارهای منفی از معادله (۴) استفاده می‌شود.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (3)$$

$$r_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (4)$$

۳- محاسبه میانگین وزن دار (WSM) و مقدار قدرت وزن-دار (WPM): در این مرحله با استفاده از روابط (۵) و (۶) به محاسبه مقادیر میانگین وزن دار و قدرت وزن دار پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است که در این روابط مقدار w_j برابر است با وزن معیارهای تحقیق که می‌توان آن‌ها را از طریق نظرات خبرگان یا استفاده از روش‌های وزن‌دهی بدست آورد.

$$S_i = \sum_{j=1}^n (w_j \times r_{ij}) \quad (5)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij})^{w_j} \quad (6)$$

۴- محاسبه امتیازات ارزیابی گزینه‌ها: امتیاز هر گزینه در این روش از طریق ۳ استراتژی با استفاده از روابط (۷) و (۸) و (۹) بدست می‌آید. رابطه اول، میانگین حسابی مقادیر WSM و WPM را نشان می‌دهد. معادله دوم، امتیاز ارتباط این دو مقدار را با بهترین مقدار نشان می‌دهد و رابطه سوم، مقدار مصالحه متوازن این دو مقدار را معرفی می‌کند.

$$k_{ia} = \frac{P_i + S_i}{\sum_{i=1}^m (P_i + S_i)} \quad (7)$$

$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min S_i} + \frac{P_i}{\min P_i} \quad (8)$$

$$k_{ic} = \frac{(1-\lambda)(P_i) + \lambda(S_i)}{\lambda \max S_i + (1-\lambda) \max P_i}; \quad 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (9)$$

۵- محاسبه امتیاز نهایی و رتبه‌بندی گزینه‌ها: امتیاز نهایی گزینه‌ها در این روش از طریق رابطه (۱۰) بدست می‌آید. بدیهی است که گزینه‌ها با امتیاز بیشتر، اولویت بالاتری دریافت می‌کنند.

$$k_i = (k_{ia} k_{ib} k_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3} (k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad (10)$$

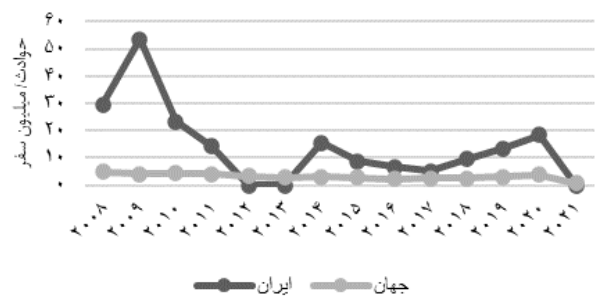
رویکرد پیشنهادی و مورد مطالعه

هوانوردی غیرنظامی در ایران سبقه طولانی دارد، در سال ۱۳۲۰ هجری شمسی خطوط هوایی ایرانیان^{۳۷} به عنوان اولین شرکت ایرلاین ملی در ایران تاسیس شد؛ همچنین در سال ۱۳۴۱ هجری شمسی، شرکت ایرلاین ملی ایران (هما) که با

خود می شوند.

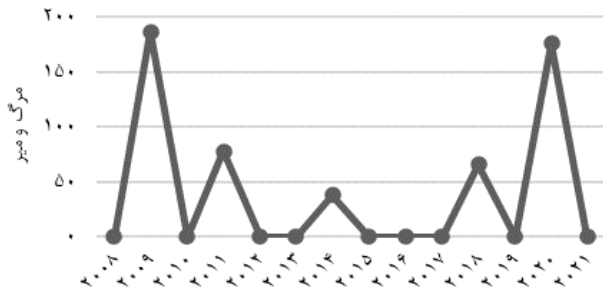
داده شده است.

نرخ وقوع حوادث



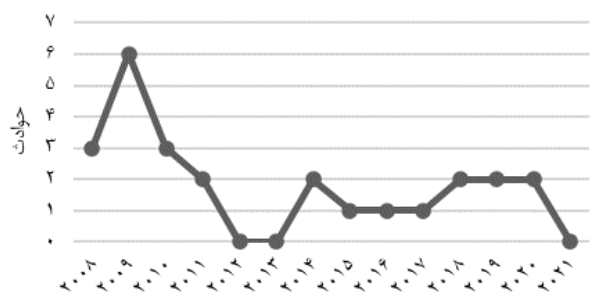
شکل ۱- نرخ وقوع حوادث در ایران در مقایسه با میزان جهانی

میزان مرگ و میر



شکل ۳- نرخ مرگ و میر سالیانه در وقایع هوانوردی ایران

تعداد حوادث



شکل ۲- تعداد حوادث سالانه در ایران

جدول ۲- هواپیماهای فعال صنعت هوانوردی ایران

نوع هواپیما	تعداد (فروند)
B747	۴
B737	۳۴
A340	۱۰
A330	۲
A321	۵
A320	۲۸
A319	۶
A310	۱۵
A300	۱۸
Md	۴۵
Bae/Rj	۲۰
F100	۲۱
F50	۵
ATR	۱۷
Embraer-145	۹
CRJ-200	۳

سازمان هواپیمایی کشوری ایران، مسئول رسیدگی به وقایع هوانوردی مختلف است. این سازمان باید رخداد این وقایع را تایید، علل احتمالی دخیل در واقعه را شناسایی، عوامل موثر را تعیین کرده و جنبه‌های مختلف آن را تحلیل نماید و سرانجام، گزارشی جامع و رسمی را در اختیار اذهان عمومی و سازمان‌های مربوطه مانند ایکائو قرار دهد. در حقیقت این سازمان یک دپارتمان مخصوص به نام دفتر بررسی سوانح و حوادث هوایی دارد؛ بازرسان و محققان خبره‌ای که در این دفتر مشغول به کار هستند به نام هیئت بررسی حوادث هوایی نیز شناخته می‌شوند که در این دفتر به صورت تخصصی بر روی وقایع مختلف در صنعت هوانوردی غیر نظامی ایران کار می‌کنند.

در کشورهای پیشرفته در حوزه هوانوردی، سیستم‌های دقیق و یکارچه گزارش‌دهی ایمنی به صورت گسترده وجود دارند اما در هوانوردی غیر نظامی ایران، هنوز سیستم یکپارچه‌ای برای گزارش‌دهی موارد ایمنی، حوادث و سوانح وجود ندارد اما راه‌های ارتباطی برای گزارشات داوطلبانه نیز موجود هستند که برای استفاده افراد مختلف دسترس قرار

در این پژوهش ابتدا، حوادث و سوانح وخیم هوانوردی غیر نظامی ایران در بازه سال‌های ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۰ با استفاده از داده‌های سازمان هواپیمایی کشوری و منابع دیگر شناسایی شده به طوریکه هیچ موردی نادیده گرفته نشود. در مرحله بعد گزارشات رسمی و سایر اطلاعات معتبر موجود در مورد این حوادث و سوانح وخیم از منابع در دسترس رسمی که در این مورد منبع اصلی، پایگاه داده گزارشات حوادث سازمان هواپیمایی کشوری [۱۲] بوده است، همچنین در موارد قدیمی- تر وقایع که گزارش رسمی و دقیقی از آنها موجود نبوده است، از اطلاعات موجود در [۱۳] و [۱۴] و منابع معتبر دیگر استفاده

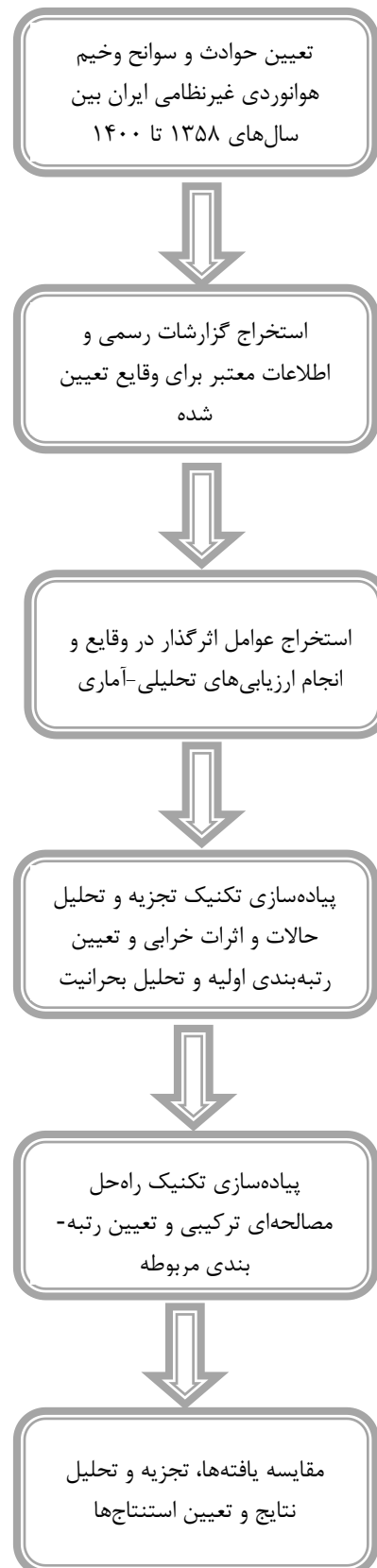
شده است.

در گام بعدی، این اطلاعات و گزارشات برحسب نوع واقعه، نوع هواپیما، و مشخصه‌های دیگر طبقه‌بندی شده و همچنین خلاصه‌ای از شرح واقعه ذکر شده است؛ در ادامه گزارشات و اطلاعات موجود، مورد به مورد به صورت دقیق بررسی شده، پس از آن، عوامل اثرگذار مانند خطاها، خرابی‌ها، شرایط به خصوص و غیره که در بروز این حوادث و سوانح وخیم نقش داشته‌اند، استخراج می‌شوند. در بخش بعدی پژوهش، دسته‌بندی‌های مختلفی تعریف شده و عوامل اثرگذار مذکور به آن‌ها تخصیص داده می‌شوند، وقتی که تمام اطلاعات مورد نیاز درباره همه موارد بدست آمد، ارزیابی‌های آماری و تحلیلی برای تعیین مهم‌ترین و بیشترین عوامل، ارتباط بین وقایع و مشخصه‌های دیگر مانند سن، ساعات پروازی و موارد دیگر انجام می‌شود. اما در بخش اصلی این پژوهش، حالات خرابی مورد بررسی در تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی از میان عوامل اثرگذار استخراج شده، بر اساس نظرات خبرگان تحقیق تعیین می‌شوند بعد از آن، مقادیر شاخص‌های شدت اثر، وقوع و قابلیت تشخیص توسط خبرگان امتیازدهی شده و مقادیر نهایی آن‌ها با ادغام نظرات خبرگان بدست می‌آید. در مرحله بعد عدد اولویت ریسک محاسبه شده و رتبه‌بندی اولیه و تحلیل بحرانیت حالات خرابی معرفی می‌شوند. در فاز بعدی، الگوریتم روش راه‌حل مصالحه‌ای ترکیبی پیاده‌سازی شده و رتبه‌بندی از این روش نیز ارائه می‌شود. در پایان مقایسه‌ای میان نتایج بدست آمده از این دو روش انجام پذیرفته و نقاط ضعف و قوت آن‌ها معرفی می‌شوند. در بخش نتایج این پژوهش، به طور کاملی این یافته‌ها و ارزیابی‌ها ارائه می‌شوند. در بخش پایانی تحقیق، خروجی‌های کلی تحقیق و تعدادی پیشنهادات و اقدامات ایمنی معرفی می‌شوند؛ لازم به ذکر است که فرآیند کلی انجام این تحقیق در شکل ۴ نمایش داده شده است.

تحلیل نتایج و یافته‌ها

ارزیابی‌های اولیه

تحقیق در مورد وقایع هوانوردی یکی از سخت‌ترین و مهارت-محورترین فرآیندها در صنعت است. به دلیل ماهیت مبهم حوادث و سوانح، پیچیدگی ساختار هواپیما و وجود شرایط مختلف، واقعه کوچکی مانند ترکیدن تیر می‌تواند شامل طیف گسترده‌ای از عوامل اثرگذاری که می‌بایست در روند



شکل ۴- فرآیند کلی انجام تحقیق

مطابق روند معرفی شده در بخش قبل انجام شده و نتایج در ادامه معرفی شده‌اند. برطبق تجزیه و تحلیل‌های انجام شده، ۴۶ مورد حادثه و سانحه وخیم در هوانوردی مسافربری کشور ایران بین سال‌های ۱۳۵۸ تا ۱۴۰۰ شناسایی شدند. در جدول ۳ در زیر، ۴۶ مورد شناسایی شده را به همراه مشخصه‌های مدنظر معرفی می‌شوند.

طبق بررسی‌های انجام شده، حوادث و سوانح قبل از سال ۱۳۵۸ در منابع مورد نظر این تحقیق معرفی نشده بودند یا اطلاعات دقیق و موثقی از آن‌ها در دسترس نبوده است؛ لذا تا تاریخ انجام این پژوهش، اولین واقعه ثبت شده مربوط به تاریخ ۱۳۵۸/۱۰/۰۱ هواپیمای B727 بوقوع پیوسته در اطراف تهران و آخرین آن‌ها مربوط به تاریخ ۱۴۰۰/۱۰/۱۵ مربوط به هواپیمای B737 بوقوع پیوسته در فرودگاه اصفهان است. در ستون واقعه این جدول نیز، نوع هرکدام از رویدادها مشخص شده‌اند.

تحقیقات مدنظر قرار گیرند، باشد. با توجه به چالش‌های ذکر شده برای تحقیق در این حوزه، برای بدست آوردن عوامل اثرگذار مد نظر این پژوهش، گزارشات و اطلاعات در دسترس در هر مورد از حوادث و سوانح وخیم مورد بررسی و موشکافی قرار گرفتند.

در داخل متن این گزارشات و اطلاعات برخی از عوامل مدنظر به طور مستقیم و برخی از آن‌ها به صورت غیرمستقیم بیان شده‌اند که این دسته از عوامل استخراج شدند؛ علاوه بر این، تعدادی از عوامل که در خلال تحلیل‌ها از جانب محققین این پژوهش قابل تامل بوده‌اند استخراج شده و با توجه به نظر خبرگان تحقیق وارد روند اجرای این تحقیق شده یا از آن خارج شده‌اند. علاوه بر این تعداد دیگری از عوامل نیز به صورت مستقیم با نظر خبرگان به روند تحقیق وارد شده‌اند.

در این تحقیق تلاش بر آن بوده است تا ضمن بررسی دقیق و موشکافانه گزارشات و اطلاعات، همه عوامل مذکور تا حد ممکن شناسایی و استخراج شوند. فرآیند این پژوهش

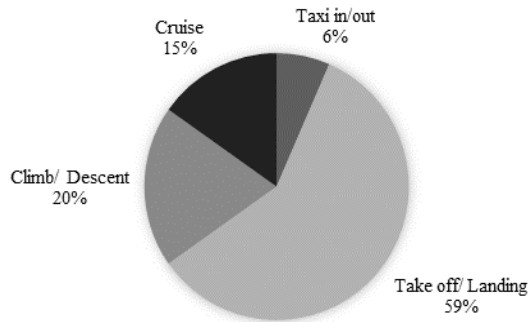
جدول ۳- حوادث و سوانح وخیم هوانوردی ایران

شماره	تاریخ	هواپیما	واقعه	شرح
۱	۱۴۰۰/۱۰/۱۵	B737	حادثه	هنگام فرود در فرودگاه اصفهان، ارابه چرخ اصلی سمت چپ شکسته و بدنه و موتور هواپیما دچار آسیب می‌شود
۲	۱۳۹۹/۰۷/۲۲	F100	سانحه وخیم	در هنگام برخاستن از زمین موتور سمت راست دچار خرابی شده و به هواپیما و کابین مسافران صدماتی وارد ساخته است.
۳	۱۳۹۸/۱۱/۰۷	MD-83	حادثه	هواپیما هنگام فرود در فرودگاه ماهشهر از باند خارج شده و صدمه دیده است
۴	۱۳۹۸/۰۶/۰۴	ATR72	سانحه وخیم	هواپیما هنگام فرود در فرودگاه مهرآباد از ناحیه دم دچار برخورد با زمین شد.
۵	۱۳۹۸/۰۱/۱۸	B737	حادثه	هواپیما دقیقی پس از برخاستن از فرودگاه امام خمینی توسط موشک مورد اصابت قرار گرفته و سقوط می‌کند.
۶	۱۳۹۸/۰۱/۰۲	F100	سانحه وخیم	در طول پرواز از تهران به ایلام خلبان قادر به باز کردن چرخ‌ها نیست و به تهران باز می‌گردد.
۷	۱۳۹۷/۱۲/۲۸	F100	حادثه	هواپیما با چرخ بسته در فرودگاه مهرآباد فرود می‌آید و متحمل صدمات می‌شود.
۸	۱۳۹۷/۰۸/۲۵	MD-88	سانحه وخیم	این پرواز دو بار اقدام به فرود در فرودگاه غیرمجاز کرد و در نهایت به سلامت در فرودگاه مقصد فرود آمد.
۹	۱۳۹۷/۰۴/۱۶	F100	سانحه وخیم	هواپیما دچار هجوم به باند در فرودگاه شیراز شده است.
۱۰	۱۳۹۷/۰۳/۱۶	A300	سانحه وخیم	هواپیما هنگام فرود در فرودگاه مهرآباد از ناحیه دم دچار برخورد با زمین شد.
۱۱	۱۳۹۷/۰۳/۱۰	A300	سانحه وخیم	هواپیما هنگام فرود در فرودگاه مهرآباد با بادهای عرضی مواجه شده و از ناحیه دم دچار برخورد با زمین شد.
۱۲	۱۳۹۶/۱۰/۲۹	ATR-72	حادثه	هواپیما در مسیر خود به سمت فرودگاه یاسوج به کوه برخورد می‌کند.
۱۳	۱۳۹۶/۱۰/۲۷	F100	حادثه	هواپیما تلاش کرد تا با چرخ بسته فرود آید و در نهایت از انتهای باند فرودگاه مشهد خارج شد.
۱۴	۱۳۹۶/۱۰/۰۱	MD-83	سانحه وخیم	هواپیما مرتکب هجوم به باند شد.
۱۵	۱۳۹۶/۰۹/۲۶	MD-83	سانحه وخیم	هواپیما لحظاتی پس از برخاستن دچار خرابی در موتور شد و به سمت چپ منحرف شد.
۱۶	۱۳۹۶/۰۸/۰۲	MD-83	سانحه وخیم	هواپیما با سرعت بیش از حد فرود آمد که منجر به خارج شدن آن از انتهای باند شد.
۱۷	۱۳۹۶/۰۲/۱۶	F100	سانحه وخیم	هواپیما مرتکب هجوم به باند شد.
۱۸	۱۳۹۶/۰۱/۰۷	B737	حادثه	هنگام فرود در فرودگاه اردبیل، ارابه اصلی فرود شکست.

ارابه فرود دماغه هنگام تاکسی دچار شکستگی شد.	سانحه وخیم	F100	۱۳۹۵/۰۶/۲۴	۱۹
پس از فرود از یک پرواز آزمایشی ارابه فرود دماغه دچار شکستگی شد.	سانحه وخیم	Bae-Rj100	۱۳۹۵/۰۶/۱۰	۲۰
هنگام برخواستن از فرودگاه مهرآباد، هواپیما به علت سرعت کم از باند فرود خارج می‌شود.	سانحه وخیم	A320	۱۳۹۵/۰۵/۲۳	۲۱
هواپیما پس از فرود در فرودگاه خارک از باند خارج شد.	حادثه	Bae146	۱۳۹۵/۰۳/۳۰	۲۲
هواپیما در حین افزایش ارتفاع دچار خرابی در موتور شد.	حادثه	B747	۱۳۹۴/۰۷/۲۳	۲۳
هواپیما پس از فرود در فرودگاه مشهد از باند خارج شد.	حادثه	MD-83	۱۳۹۴/۰۷/۱۰	۲۴
هواپیما لحظاتی پس از برخواستن در اطراف فرودگاه سقوط می‌کند.	حادثه	AN-140	۱۳۹۳/۰۵/۱۹	۲۵
ارابه فرود سمت چپ باز نشده و هواپیما با چرخ بسته فرود می‌آید.	حادثه	F100	۱۳۹۳/۰۲/۲۰	۲۶
هنگام پرواز کالیبراسیون، هواپیما دچار سقوط در خلیج فارس می‌شود.	حادثه	Falcon20E	۱۳۹۲/۱۲/۱۲	۲۷
هواپیما هنگام برخواست مرتکب به تاخیر بیش از حد ^{۳۹} می‌شود.	حادثه	B747	۱۳۹۲/۰۷/۰۱	۲۸
هنگام انجام تاکسی، بال دو هواپیما با یکدیگر برخورد می‌کند.	سانحه وخیم	F100	۱۳۹۲/۰۵/۱۵	۲۹
ارابه فرود هواپیما به دلیل وجود مانعی دچار شکستگی شد.	حادثه	A300	۱۳۹۰/۰۶/۱۲	۳۰
در طول پرواز شتاب بیش از حد مجاز بر هواپیما اعمال شد.	سانحه وخیم	A300	۱۳۸۹/۱۰/۲۹	۳۱
هواپیما در اطراف فرودگاه ارومیه سقوط کرد	حادثه	B727	۱۳۸۹/۱۰/۱۹	۳۲
هواپیما دچار تاخیر بیش از حد شده و از باند خارج می‌شود.	حادثه	F100	۱۳۸۹/۰۶/۰۳	۳۳
پس از فرود روی باند فرودگاه مشهد آتش گرفت. در اثر این حادثه داخل هواپیما به کل سوخته و بال سمت راست و دم و چرخ هواپیما جدا شدند.	حادثه	Tu154	۱۳۸۸/۱۰/۰۴	۳۴
هواپیما بر اثر از کار افتادن ارابه فرود اصلی سمت چپ در فرودگاه شهید بهشتی اصفهان به شدت آسیب دید.	حادثه	F100	۱۳۸۸/۰۸/۲۷	۳۵
هواپیما پس از فرود در فرودگاه مهرآباد دچار حادثه شد.	حادثه	IL62	۱۳۸۸/۰۵/۰۲	۳۶
هواپیما پس از دقایقی پرواز در اطراف قزوین سقوط می‌کند.	حادثه	Tu154	۱۳۸۸/۰۴/۲۴	۳۷
هواپیما در حین انجام پرواز تمرینی در اطراف اصفهان سقوط می‌کند.	حادثه	An140	۱۳۸۷/۱۰/۲۷	۳۸
توپولف هنگام فرود در باند دچار حادثه شد هواپیما منحرف شد و آتش گرفت.	حادثه	Tu154	۱۳۸۵/۰۶/۱۰	۳۹
بر اثر شکستن ارابه فرود هواپیما از باند خارج و به داخل رودخانه کن افتاد.	حادثه	B707	۱۳۸۴/۰۱/۳۱	۴۰
هواپیما در نزدیکی فرودگاه شارجه سقوط می‌کند.	حادثه	F50	۱۳۸۲/۱۰/۲۱	۴۱
هواپیما هنگام تقرب به فرودگاه خرم آباد با کوه سفید برخورد می‌کند.	حادثه	Tu154	۱۳۸۰/۱۰/۲۳	۴۲
هواپیما در طول یک پرواز آموزشی در اطراف فرودگاه رشت سقوط می‌کند.	حادثه	B727	۱۳۷۵/۰۳/۲۰	۴۳
هواپیما از اصفهان به سمت تهران در حرکت بود که در ارتفاعات کرکس سقوط کرد.	حادثه	F28	۱۳۷۳/۰۷/۱۸	۴۴
هواپیما دقایقی پس از برخواستن از فرودگاه با یک فروند Su-24 برخورد می‌کند.	حادثه	Tu154	۱۳۷۱/۱۰/۱۹	۴۵
هواپیما از مشهد به سمت تهران در حرکت بود که در کوه‌های لشکرک سقوط کرد.	حادثه	B727	۱۳۵۸/۱۰/۰۱	۴۶

طور قابل توجهی از تعداد سوانح وخیم بیشتر است. براساس رویکرد آماری بخش اول این پژوهش، در این بخش موارد ذکر شده در قالب نوع هواپیمای درگیر در این وقایع بخش‌بندی شده و فراوانی هر نوع در نمودار ۴ مشخص شده است. همانطور که در شکل ۴ دیده می‌شود، هواپیمای فوکر (F100) درگیرترین هواپیما در حوادث و سوانح وخیم هوانوردی کشور ایران بوده است. فوکر ۱۰۰ یک هواپیمای مسافربری هلندی است که تولید آن ۲۲ سال قبل متوقف شد با این حال، ایران یکی از بزرگترین و فعال‌ترین ناوگان‌های این نوع هواپیما در جهان را دارد. بنابر جدول ۲ این نوع هواپیما، یکی از پرتعدادترین هواپیماهای فعال (رتبه چهارم) در ناوگان

یکی از عناصر حیاتی در تحقیقات در مورد وقایع هوانوردی، نوع هواپیمای مورد استفاده در هنگام رخداد واقعه است. در هر فرآیند تحقیق، هواپیما یکی از اولین مواردی است که کارشناسان و محققین مورد توجه قرار می‌دهند. اگر تحقیقات اثبات کنند که نوع بخصوصی از هواپیماها دارای نقصی در ساختار یا طراحی و یا هرخصوصیت منفی دیگری هستند که ایمنی پروازها را تحت تاثیر قرار می‌دهند، اقدامات پیشگیرانه در دستور اجرا قرار می‌گیرند. با توجه به جدول ۳، تعداد ۴۶ مورد حادثه و سانحه وخیم شناسایی شدند که از این میان، ۱۶ مورد سانحه وخیم بوده و ۳۰ مورد باقی‌مانده نیز از نوع حادثه بوده‌اند که حاکی از آن است که تعداد حوادث به



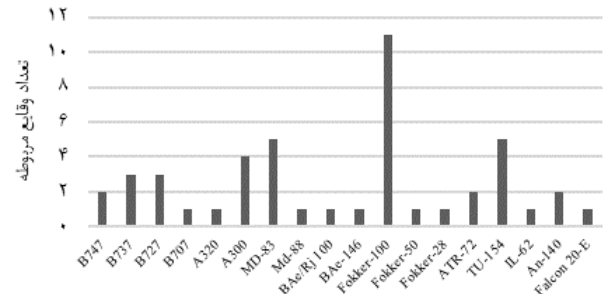
شکل ۵- فراوانی رخداد وقایع در فازهای مختلف پرواز

فرود و برخاست دو مرحله حیاتی در پروازهای تجاری هستند؛ خلبانان، مسئولین کنترل ترافیک هوایی و کادر پرواز باید به طور دقیق و صحیح وظایف خود را انجام دهند، به علاوه اینکه تعداد متعددی از الزامات، دستورالعمل‌ها و چک‌لیست‌ها وجود دارند که باید توسط افراد ذکر شده، مورد توجه قرار گیرند. اگر ما دلایل و عوامل موثر در بروز وقایع بخش فرود و برخاست را به طور دقیق مورد بررسی و نظارت قرار دهیم، قادر خواهیم بود که از وقوع آنها جلوگیری کرده، آن‌ها را کاهش داده و ایمنی پروازها را افزایش دهیم. در بخش بعدی این تحقیق، عوامل موثر ذکر شده و دلایل وقوع آن‌ها از دل گزارشات و اطلاعات در دست استخراج شده و همچنین ارزیابی‌های تحلیلی-آماری بعدی نیز انجام می‌شوند.

تجزیه و تحلیل عوامل اثرگذار و علل وقوع آن‌ها

همانطور که قبلا گفته شد، کوچکترین رخدادی مانند یک خطای جزئی در عملکرد پرسنل زمینی نیز باید گزارش داده شده و ارزیابی شود، از منظر دیگر، می‌دانیم که هر رخدادی در هوانوردی می‌تواند حتی ناشی از ده‌ها عامل مختلف مانند خطا یا خرابی باشد. یک سناریو فاجعه برانگیز مانند سقوط هواپیما، ممکن است که با یک خطای ساده تکنسین فنی آغاز شود؛ این خطا ممکن است منجر به عملکرد نادرست یک زیرسیستم شده و این عملکرد نادرست ممکن است منجر به خرابی یا از کار افتادگی یک سیستم حیاتی مانند سیستم سطوح کنترل هواپیما شود که این مسئله ممکن است شرایط پرواز را خطرناک کرده و حتی در مواردی منجر به سقوط شود. بنابراین ما باید این نکته را در نظر داشته باشیم که هر رخداد کوچک و بزرگ مرتبط با ایمنی پرواز ممکن است به مانند دومینو یا اثر پروانه‌ای وقایع سلسله‌وار بعدی را در پی داشته

هوایی ایران است. بنابراین تصمیم‌گیری در مورد اینکه این هواپیما یک پرنده خطرناک و آسیب‌پذیر است یا خیر، تصمیم شبه‌برانگیزی خواهد بود و نیازمند تجزیه و تحلیل فنی و حرفه‌ای است. بعد از فوکر ۱۰۰، توپولوف ۱۵۴، ام دی ۸۳ و ایرباس ۳۰۰ در جایگاه‌های بعدی قرار دارند.



شکل ۴- فراوانی نوع‌های مختلف هواپیما در وقایع

در ادبیات هوانوردی، یک پرواز کامل متشکل از ۷ مرحله یا فاز است که شامل تاکسی خروج^{۴۰}، برخاست، صعود، کروز^{۴۱}، نزول، فرود و تاکسی ورود^{۴۲} است. در این بخش ما، تاکسی ورود و خروج، صعود و نزول، فرود و برخاست و کروز را به عنوان ۴ گروه مجزا در نظر می‌گیریم؛ همچنین لازم به ذکر است که تقرب^{۴۳} و عزیمت^{۴۴} نیز در گروه صعود و نزول در نظر گرفته می‌شوند. حال ۴۶ مورد حادثه و سانحه وخیم را در گروه‌های ذکر شده دسته‌بندی می‌کنیم و فراوانی هر دسته در شکل ۵ مشخص شده‌است. به طور سنتی متخصصین هوانوردی بیان می‌کنند که مرحله فرود و برخاست، خطرناک‌ترین مراحل هر پرواز هستند، اما این حقیقت می‌تواند برحسب شرایط و سیستم‌های حمل و نقل متفاوت، اختلافاتی داشته باشد.

همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود، فراوان‌ترین فاز پروازی دخیل در حوادث و سوانح وخیم هوانوردی غیرنظامی ایران، مرحله فرود و برخاست بوده‌است. از طرفی دیگر ما می‌توانیم این حقیقت را به هوانوردی جهان نیز تعمیم دهیم؛ بر طبق تحقیقات شرکت بوئینگ، ۴۹٪ حوادث مرگبار و فاجعه‌بار، در مراحل پایانی نزول و فرود بوقوع پیوسته‌اند. دلایل متعددی برای رخداد اینگونه وقایع ناخواسته وجود دارد مثل برخورد با موانع زمینی، برخورد با هواپیماهای دیگر، فرودهای نامناسب و غیراستاندارد، خطاهای خلبان یا تکنسین‌ها، نقص‌های فنی و موارد دیگر.

فراوانی آن‌ها نمایش داده شده است. در جدول ۵ برای هر عامل، مشخصه مربوط به آن با توجه به جدول ۴ ذکر شده است و همچنین سعی شده است که همه عوامل تا حد ممکن با جزئیات ذکر شده تا تحلیل‌های بدست آمده عمیق‌تر و تخصصی‌تر باشند. همانطور که در ابتدای این بخش ذکر شد، عوامل مورد نظر، مطابق با گزارشات و اطلاعات در دسترس و همچنین نظرات خبرگان تحقیق بوده‌اند. خبرگان این تحقیق شامل ۷ نفر از بازرسان و متخصصان دفتر بررسی سوانح و حوادث سازمان هواپیمایی کشوری و هوانوردان خبره بوده‌اند.

جدول ۴- دسته‌بندی عوامل موثر

دسته	زیر-دسته (مشخصه)
انسان	کادر پرواز (M ₁)، کادر کنترل ترافیک هوایی (M ₂)، تکنسین-ها (M ₃)، پرسنل زمینی (M ₄)
ماشین	موتور (A ₁)، ارابه فرود (A ₂)، ترمز (A ₃)، هشدار (A ₄)، هیدرولیک (A ₅)، ناوبری (A ₆)، کنترل پرواز (A ₇)، نشانگرها (A ₈)
محیط	آب و هوا (E ₁)، پدیده‌های طبیعی (E ₂)، فرودگاه (E ₃)
سازمانی/مدیریتی	ایرلاین (O ₁)، سازنده هواپیما (O ₂)، عوامل سیاسی (O ₃)

در دسته‌بندی ارائه شده در جدول ۴، لازم به ذکر است که در حوادث و سوانح هوانوردی که همواره در سراسر جهان بوقوع می‌پیوندند، ممکن است که در دسته‌های مختلف، گروه‌های دیگری نیز دخیل باشند. به عنوان مثال ممکن است که سیستم مخازن سوخت هواپیما به عنوان یکی از زیردسته‌های دسته عوامل ماشینی در یک پژوهش مطرح باشد، اما با توجه به اینکه مورد مطالعه این تحقیق صنعت هوانوردی غیرنظامی ایران بوده و منبع استخراج این عوامل به صورت عمده، گزارشات سازمان هواپیمایی کشوری در خصوص حوادث و سوانح وخیم بوده‌اند. لذا دسته‌های بدست آمده، در این چهارچوب قرار داشته و مستقیماً براساس اطلاعات رسمی و مورد مطالعه مورد نظر این تحقیق است. در این جدول، عوامل انسانی شامل ۴ دسته، عوامل ماشینی شامل ۸ دسته، عوامل محیطی شامل ۳ دسته و عوامل سازمانی/مدیریتی نیز شامل ۳ دسته بوده‌اند.

باشد. ایمنی در هوانوردی با دنبال کردن دستورالعمل‌ها و نظارت‌های منظم و موارد بیشمار دیگر بدست می‌آید. همانطور که در بخش رویکرد تحقیق ذکر شد، گزارشات رسمی وقایع مذکور از پایگاه داده سازمان هواپیمایی کشوری ایران بدست آمده و در موارد قدیمی‌تر که گزارشی در مورد واقعه مورد نظر در دسترس نبوده است، اطلاعات معتبر مورد نیاز از شبکه‌های هوانوردی بین‌المللی و سازمان‌های مربوطه مانند ایکائو و شبکه ایمنی حمل و نقل^{۴۵} و غیره بدست آمده‌اند. در مرحله بعد، داده‌های بدست آمده به صورت یک به یک برای هر واقعه، مورد تجزیه و تحلیل و مطالعه موشکافانه قرار گرفته‌اند. در نهایت عوامل اثرگذار مربوطه، علل محتمل، خطاها و خرابی‌ها در طول روند تجزیه و تحلیل استخراج شده‌اند؛ علاوه بر این، متخصصین دفتر بررسی سوانح و حوادث سازمان هواپیمایی کشوری ایران در این فرآیند شرکت کردند تا از نادیده گرفته شدن هر عامل کوچک و بزرگی جلوگیری بعمل آید. نتایج این فرآیند در ادامه این بخش آمده‌اند.

در این تحقیق، ۱۷۴ عامل به صورت تجمعی و ۹۲ عامل منحصر به فرد استخراج شدند و پس از آن، این عوامل در چهار دسته عوامل ماشینی، انسانی، محیطی، مدیریتی و سازمانی تقسیم‌بندی شدند. عوامل انسانی به همه خطاها و اقدامات نامناسب که توسط انسان‌ها در بخش‌های مختلف مانند خلبانان، پرسنل کنترل ترافیک هوایی، تکنیسین‌های فنی و غیره انجام شده، گفته می‌شود. عوامل ماشینی به همه خرابی‌ها، عدم کارکردها و کارکردهای نامناسب هر سیستم یا زیرسیستمی از هواپیما گفته می‌شود که منجر به ایجاد یک شرایط نایمن می‌شوند. عوامل محیطی نیز به همه پدیده‌های طبیعی و غیر طبیعی که توسط بشر ایجاد شده گفته می‌شود که پروازها را خطرناک می‌سازند و دسته آخر، عوامل مدیریتی سازمانی مرتبط با تمام ضعف‌های سازمان‌های مرتبط با هوانوردی، سیاست‌های غلط و موارد دیگر می‌شود. لازم به ذکر است که این ۴ دسته ذکر شده، به زیردسته‌هایی تقسیم می‌شوند که در جدول ۴ به همراه مشخصه‌های تخصیص یافته به هر زیردسته مشخص شده‌اند.

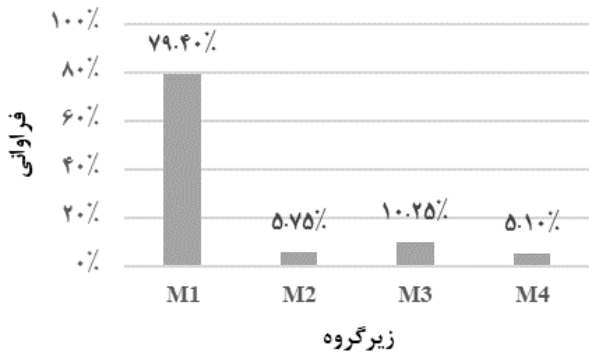
همانطور که قبلاً گفته شد، ۹۲ عامل موثر منحصر به فرد در بخش‌های قبلی استخراج شد. برخی از این عوامل در دو یا چندین مورد حادثه یا سانحه وخیم مشترک بوده‌اند. در جدول ۵ این عوامل ذکر شده در حوزه‌های مختلف به همراه میزان

جدول ۵- شرح عوامل اثرگذار

دسته	شماره	عامل	مشخصه	فراوانی
انسانی	۱	خطای خلبان: فرود با سرعت و ارتفاع بیشتر یا کمتر از حد استاندارد	M ₁	۴
	۲	خطای خلبان و دیسپچر: حمل بیش از اندازه سوخت	M ₁	۱
	۳	خطای خلبان: انتخاب باند نامناسب برای فرود	M ₁	۱
	۴	ضعف مدیریت منابع کاکپیت ^{۴۶}	M ₁	۱۷
	۵	خطای خلبان: استفاده از کنترل ورودی دوگانه	M ₁	۱
	۶	خطای خلبان: بالا بردن ^{۴۷} بیش از حد دماغه در هنگام فرود	M ₁	۱
	۷	خطای اپراتور سامانه موشکی: تشخیص هواپیمای مسافربری به عنوان جسم متخاصم	M ₄	۱
	۸	ضعف و خطای تکنسین‌ها	M ₃	۵
	۹	تعمیرات و نگهداری نامناسب	M ₃	۲
	۱۰	خطای خلبان: عدم پیروی از دستوالعمل‌ها و انجام اقدامات نامناسب	M ₁	۱۵
	۱۱	عدم آشنایی خلبان با فرودگاه مقصد	M ₁	۱
	۱۲	خطای خلبان: عدم پیروی از دستورات کنترلر برج مراقبت	M ₁	۳
	۱۳	خطای کنترل ترافیک هوایی: خطا در برنامه‌ریزی پروازهای ورودی و خروجی	M ₂	۳
	۱۴	خطای خلبان: خطا در تصمیم‌گیری	M ₁	۴
	۱۵	خطای کنترل ترافیک هوایی: عدم تغییر باند فرود در زمان مقتضی	M ₂	۱
	۱۶	خطای خلبان: کاهش ارتفاع غیرمجاز	M ₁	۱
	۱۷	خطای خلبان: وقوع حالت واماندگی ^{۴۸} و عدم انجام اقدامات مناسب	M ₁	۲
	۱۸	خطای خلبان: استفاده از خلبان خودکار ^{۴۹} پس از وقوع حالت واماندگی	M ₁	۱
	۱۹	خطای تکنسین‌های نگهداری و تعمیرات و عدم داشتن تجربه کافی	M ₃	۲
	۲۰	عدم وجود بازرسی باند و اطلاع‌رسانی مناسب	M ₄	۲
	۲۱	خستگی خلبان	M ₁	۲
	۲۲	عدم نظارت مناسب بر امور فنی و بی‌توجهی به اطلاعیه‌های سازنده	M ₃	۳
	۲۳	خطای خلبان: برگرداندن اهرم چرخ‌های اضطراری روی حالت Stowed position	M ₁	۱
	۲۴	خطای خلبان: تنظیم قدرت موتورها بدون تثبیت اولیه قدرت	M ₁	۱
	۲۵	خطای خلبان: تاخیر زیاد در انصراف از درخواست و متوقف کردن هواپیما	M ₁	۱
	۲۶	خطای خلبان: استفاده نادرست از معکوس کننده نیرو موتور ^{۵۰}	M ₁	۳
	۲۷	خطای خلبان: اعلام نکردن میزان ERP	M ₁	۱
	۲۸	خطای خلبان: اعتماد به نفس بیش از حد	M ₁	۱
	۲۹	خطای خلبان: خطا در محاسبه وزن کل پرواز	M ₁	۱
	۳۰	خطای خلبان: گردش با سرعت کمتر از حد استاندارد	M ₁	۱
	۳۱	خطای خلبان: انحراف از خطوط زرد تاکسی	M ₁	۱
	۳۲	خطای خلبان: ایجاد شرایط سرعت هوایی غیرقابل اطمینان ^{۵۱}	M ₁	۱
	۳۳	خطای خلبان: عدم عکس‌العمل مناسب در هنگام وقوع خرابی در موتور	M ₁	۱
	۳۴	وارد آوردن فشار بیش از حد به هواپیما به دلیل فرود و برخاست و مانورهای بیش از اندازه	M ₁	۱
	۳۵	خطای خلبان: اصرار بر فرود با وجود از دست دادن بخشی از طول باند	M ₁	۳
	۳۶	خطای خلبان: عدم قفل کردن سیستم معکوس کننده نیروی موتور	M ₁	۱
	۳۷	خطای خلبان: خطا در مسیریابی و اجرای مناسب طرح تقرب	M ₁	۳
	۳۸	خطای خلبان: عدم بازکردن ارابه‌های فرود	M ₁	۱
	۳۹	خطای خلبان: غیرفعال کردن سیستم هشدار اصلی	M ₁	۱
ماشینی	۴۰	خرابی ارابه فرود اصلی	A ₂	۶
	۴۱	خرابی توربین HTP موتور	A ₁	۱

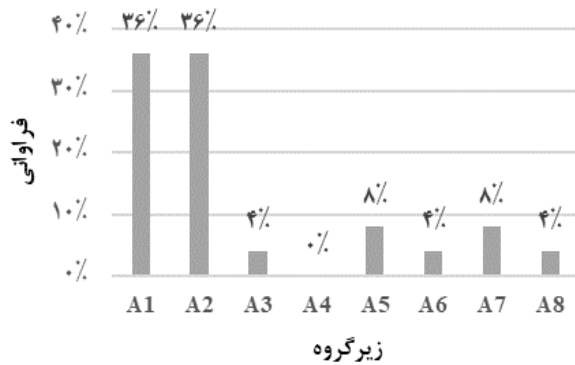
۳	A ₅	خرابی سیستم هیدرولیک	۴۲	
۱	A ₆	خرابی در سیستم VOR	۴۳	
۱	A ₅	ورود ذرات خارجی به اتصالات سیستم هیدرولیک	۴۴	
۴	A ₁	خرابی موتور و از دست دادن نیرو	۴۵	
۱	A ₂	خرابی قطعه Shimmy damper	۴۶	
۱	A ₂	خرابی و شکست قطعه Torsion link	۴۷	
۴	A ₂	شکست ارابه فرود دماغه	۴۸	
۱	A ₂	ترک ناشی از خستگی روی ارابه فرود	۴۹	
۱	A ₂	نشستی شیر انتخابگر	۵۰	
۲	A ₂	خرابی سیستم ضد لغزش چرخ‌ها ^{۵۲}	۵۱	
۱	A ₁	گسترش ترک‌ها به دلیل لرزش ناشی از بالانس نبودن مازول HTP	۵۲	
۱	A ₁	خرابی کنترل الکترونیکی موتور	۵۳	
۱	A ₁	خرابی سیستم شروع به کار دستی موتور	۵۴	
۲	A ₂	خرابی سیستم دستی باز کردن ارابه‌های فرود	۵۵	
۱	A ₈	خرابی سیستم ارتفاع‌سنج هواپیما	۵۶	
۱	A ₁	کارکرد نامناسب سیستم Engine trim	۵۷	
۱	A ₁	خرابی سیستم Pitot heating	۵۸	
۱	A ₁	شکست دیسک ردیف اول کمپرسور کم فشار موتور	۵۹	
۱	A ₇	از دست رفتن فرامین کنترل	۶۰	
۱	A ₁	پارگی لوله سوخت	۶۱	
۲	A ₂	ترکیدگی تایر چرخ‌ها	۶۲	
۱	A ₃	کاکرد نامناسب سیستم ترمز	۶۳	
۱	A ₇	کننده شدن سکان افقی	۶۴	
۱	E ₁	بادهای پایین برنده	۶۵	محیطی
۷	E ₁	آب و هوای نامناسب و دید کم	۶۶	
۲	E ₁	تغییرات زیاد در سرعت و جهت باد	۶۷	
۱	E ₂	پدیده موج کوهستان ^{۵۳}	۶۸	
۱	E ₁	وجود ابرهای یخ‌زا	۶۹	
۱	E ₃	شرایط غیراستاندارد فرودگاه مهرآباد	۷۰	
۱	E ₃	ترافیک بیش از حد در فرودگاه مهرآباد	۷۱	
۱	E ₃	فضای پارکینگ غیراستاندارد فرودگاه	۷۲	
۱	E ₃	وجود جسم فلزی به عنوان مانع و عدم وجود روشنایی مناسب	۷۳	
۱	E ₃	عدم وجود تجهیزات ناوبری مناسب	۷۴	
۱	E ₂	وجود مناطق کوهستانی در اطراف فرودگاه	۷۵	
۱	E ₃	خرابی سیستم ناوبری و راداری فرودگاه مهرآباد	۷۶	
۱	O ₃	ضعف پروتکل‌ها و مدیریت ریسک برای پروازهای غیرنظامی در شرایط جنگی	۷۷	سازمانی/
۲	O ₂	ضعف طراحی هواپیما	۷۸	مدیریتی
۱	O ₁	ضعف در آموزش کارکنان	۷۹	
۱	O ₂	نبود سیستم APN در هواپیما	۸۰	
۲	O ₃	مشکلات تامین قطعات یدکی و اطلاعات مورد نیاز به دلیل تحریم‌های بین‌المللی	۸۱	
۱	O ₁	ضعف ایرلاین در آموزش و توجیه کادر پرواز در مورد دستورالعمل‌ها و رویکردها	۸۲	
۱	O ₁	ضعف در نظارت و بازرسی فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات	۸۳	
۱	O ₂	نامناسب و گیج کننده بودن AFM هواپیما	۸۴	

۱	O ₁	عدم وجود نظارت مناسب بر فرآیند کالیبراسیون	۸۵
۱	O ₂	قدیمی بودن تجهیزات هواپیما	۸۶
۱	O ₁	نبود پروازهای آزمایشی مناسب	۸۷
۱	O ₂	دستورالعمل‌های منتشر شده نامناسب از سوی سازنده	۸۸
۱	O ₂	عدم ارسال به موقع دستورالعمل‌های مناسب از سوی سازنده	۸۹
۱	O ₁	خطای سازمان در برنامه‌ریزی پروازهای تمرینی	۹۰
۱	O ₁	خطای ایرلاین در از رده خارج نکرد تایپ خاصی از هواپیما	۹۱
۱	O ₁	خطای سازمان در نادیده گرفتن اطلاعیه‌های سازنده هواپیما	۹۲

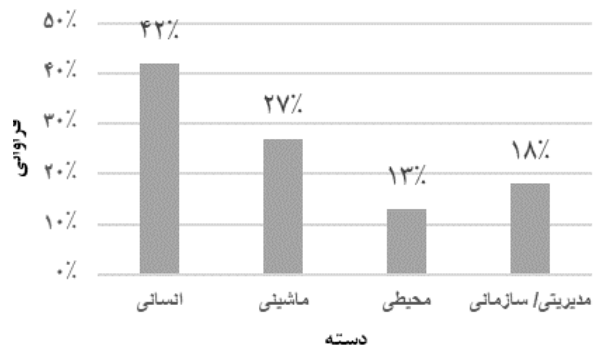


شکل ۸- فرآوانی زیرگروه‌های عوامل انسانی

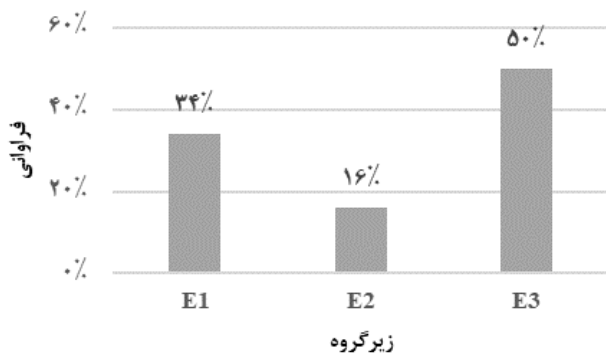
در صنعت هوانوردی یک حقیقت ثابت وجود دارد و آن این است که ما قادر نیستیم حوادث و سوانح را حذف و نرخ وقوع آن‌ها را به صفر برسانیم، اما می‌توانیم تا حد ممکن از آن‌ها اجتناب کرده، اثراتشان را کاهش دهیم و اقدامات پیش-بینانه مناسبی را تعیین کنیم. بدین منظور، یک رویکرد مناسب آن است به تجزیه و تحلیل وقایع گذشته بپردازیم، علل و عوامل موثر در وقوع آن‌ها را استخراج نماییم، رویکردی که در این تحقیق نیز استفاده شده است. بنابر اطلاعات بدست آمده از جدول ۵، ارزیابی‌های آماری موردنظر در قالب نمودارهای مربوطه معرفی شده اند.



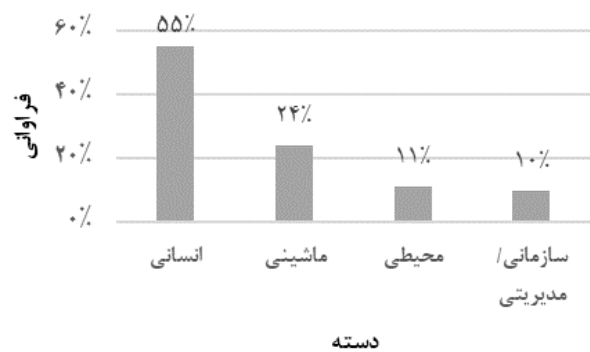
شکل ۹- فرآوانی زیرگروه‌های عوامل ماشینی



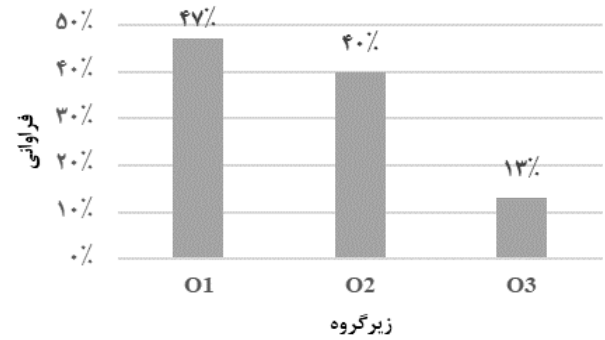
شکل ۶- فرآوانی دسته‌های عوامل اثرگذار



شکل ۱۰- فرآوانی زیرگروه‌های عوامل محیطی



شکل ۷- فرآوانی تجمعی دسته‌های اثرگذار



شکل ۱۱- فراوانی زیرگروه‌های عوامل سازمانی / مدیریتی

- ۱- پردازش اطلاعات
- ۲- خطای انسانی، قابلیت اطمینان و مدیریت خطاها
- ۳- مدیریت خستگی و فشار کاری
- ۴- آگاهی محیطی
- ۵- مدیریت ارتباطات
- ۶- اتوماسیون
- ۷- CRM برای خلبانان تنها

یکی از مهم‌ترین آموزش‌های برای خلبانان مشغول به خدمت، مبحث مدیریت منابع کاکپیت است که امروزه در همه ایرلاین‌های دنیا مقوله‌ای حیاتی به‌شمار می‌آید و لازم به ذکر است که اجرای مناسب آن نیازمند بررسی منابع در دسترس است. می‌توان گفت که مهم‌ترین علل ضعف CRM در سیستم هوانوردی ایران موارد زیر هستند:

- ۱- رویکردهای مدیریتی غلط ایرلاین‌ها،
- ۲- ضعف در ساختار ایرلاین‌ها،
- ۳- فرهنگ نادرست موجود میان خلبانان،
- ۴- وجود فرهنگ غلط در ساختار آموزشی خلبانان،
- ۵- نبود سندیکاها و جوامع فعال.

همانطور که در بخش قبل ذکر شد، پرواز با یک هواپیما به طور تقریباً کامل براساس پیشروی از روی دستورالعمل‌ها و چک‌لیست‌ها است. در هوانوردی برای همه اقدامات مانند تاکسی، فرود، برخاست و ... و همچنین برای شرایط مختلف از جمله شرایط اضطراری مانند خرابی موتور و موارد دیگر دستورالعمل‌های دقیقی وجود دارند؛ بنابراین از خلبانان انتظار می‌رود که همواره و تحت هر شرایطی از این دستورالعمل‌ها و رویه‌ها تبعیت کنند. در مواردی که خلبانان مغایر با دستورالعمل‌ها اقدامی انجام می‌دهند، شانس وقوع خطا افزایش می‌یابد و حتی در موارد بدتر، ایمنی پرواز تهدید می‌شود. برخی از دلایل این خطا به شرح زیر هستند:

- ۱- نبود آموزش‌های منظم و مناسب
- ۲- نبود نظارت و بازرسی مناسب از پروازها توسط ایرلاین‌ها و سازمان‌های مربوطه
- ۳- دستورالعمل‌ها و چک لیست‌های نامناسب یا گیج کننده
- ۴- صفات فردی بد مانند غرور و اعتماد به نفس بیش از اندازه

انسان، مهم‌ترین عنصر صنعت هوانوردی است؛ او هواپیماها را به پرواز درمی‌آورد، ترافیک هوایی را کنترل می‌کند، کارکرد ایمن تجهیزات و هواپیماها را تضمین می‌کند و بخش زیادی از امور دیگر را انجام می‌دهد. با وجود همه آموزش‌های منظم، دستورالعمل‌های دقیق و الزامات قانونی، انسان همچنان جایز الخطا است. همانگونه که قبلاً ذکر شد، مطمئناً ما می‌توانیم نرخ وقوع این خطاها را کاهش دهیم، اما آن‌ها همچنان وجود داشته و ایمنی هوانوردی ما را تهدید می‌کنند.

همانگونه که در شکل ۶ و ۷ نشان داده شده است، انسان پرتکرارترین و متداول‌ترین عامل اثرگذار حوادث و سوانح وخیم به صورت تجمعی و منحصر به فرد است. از منظر دیگر، عامل "ضعف مدیریت منابع کاکپیت" با ۱۷ تکرار و عامل "خطای خلبان در عدم پیروی از دستورالعمل‌ها و انجام اقدامات نامناسب" با ۱۵ تکرار پرتکرارترین عامل‌ها در میان ۹۲ عامل ذکر شده بوده که متعلق به گروه عوامل انسانی هستند.

CRM یا مدیریت منابع کاکپیت (کادر پرواز) در سال ۱۹۷۹ توسط ناسا با تمرکز بر ایمنی حمل و نقل هوایی به دایره لغات هوانوردی اضافه شد. برطبق تحقیقاتی که بر روی حوادث هوایی انجام شده است، سازمان‌های مسئول به این نتیجه رسیده‌اند که بخش اعظمی از این حوادث به دلیل خطاهای انسانی رخ می‌دهند و این خطاها شامل ارتباطات ضعیف یا نادرست بین افراد (روابط بین‌فردی) است. دستورالعمل‌های مدیریت منابع کاکپیت شامل طیف گسترده‌ای از دانش، مهارت‌ها و نگرش‌ها است که این موارد متشکل‌اند از ارتباطات، آگاهی محیطی و موقعیتی، حل مسئله، تصمیم‌گیری و کار تیمی.

موضوع مدیریت منابع کاکپیت از ۷ حوزه تشکیل شده است که عبارتند از:

بازرسی‌ها می‌تواند منجر به کاهش نرخ وقوع خرابی در سیستم ارباهای فرود شود.

یک فرودگاه مناسب برای داشتن یک پرواز ایمن حیاتی است. امروزه هزاران فرودگاه کوچک و بزرگ در سراسر دنیا وجود دارند که مبدا یا مقصد صدها پرواز هستند. ایمنی فرودگاه می‌تواند از جنبه‌های مختلف مانند باندهای فرود، مسیرهای تاکسی، تجهیزات کمک‌ناوبری، نور و چراغ‌ها و موارد دیگر مورد بررسی قرار گیرد. همانگونه که در شکل ۱۰ دیده می‌شود، فرودگاه‌ها مهم‌ترین عامل در دسته عوامل محیطی هستند. برای مواجهه با این مسئله، اقدامات پیشنهادی زیر می‌تواند مفید باشد:

۱- آموزش مناسب و منظم کارکنان

۲- تهیه و تجهیز فرودگاه با تجهیزات مدرن مانند

چراغ‌ها، وسائل کمک‌ناوبری، تجهیزات رادیویی، رادارها و ...

۳- بازرسی و نگهداری تعمیرات منظم باندها، مسیرهای

تاکسی و تجهیزات بر طبق الزامات و استانداردها

۴- تحت نظر قرار دادن اطلاعیه‌ها و دستورالعمل‌های

سازمان‌های مربوطه مانند ایکائو.

در دسته آخر که عوامل سامانی و مدیریتی جای دارند،

ایرلاین‌ها و سازندگان هواپیما به عنوان مهم‌ترین عوامل

شناخته شده‌اند. همانگونه که می‌دانیم، ایرلاین‌ها مسئول همه

عملیات‌های هوانوردی مانند طرح‌ریزی پرواز، دیسپچینگ،

تعمیر و نگهداری و موارد دیگر هستند، بنابراین آن‌ها باید برای

جلوگیری از بروز این وقایع به طور دقیق و مناسب کار کنند. از

منظر دیگر تولیدکنندگان هواپیما نقش بسیار مهمی در ایمنی

هوانوردی دارند. آن‌ها باید همواره تلاش کنند که طراحی و

تولید محصولات خود را به سمت ایمن‌تر شدن و افزایش قابلیت

اطمینان محصولات سوق دهند. همچنین این تولیدکنندگان

باید خدمات پس از فروش مانند توصیه‌های ایمنی،

دستورالعمل‌های نگهداری و تعمیرات، دفترچه راهنما^{۵۷} و غیره

را فراهم کنند.

در میان گزارشات و اطلاعات موجود از وقایع هوانوردی

ایران که شامل ۴۶ مورد بودند، در ۲۴ مورد، اطلاعاتی در مورد

پرسنل موجود بوده است؛ در ادامه این وقایع را برحسب

اطلاعات پرسنل مانند سن خلبان و کمک خلبان، کل ساعت

پروازی خلبان و کمک خلبان و ساعات پروازی خلبانان و کمک

خلبانان بر روی تایپ‌های مختلف هواپیماهای دخیل در این

۵- وجود شرایط تنش‌زا مانند وضعیت‌های اضطراری،

نقص‌های فنی و موارد دیگر

۶- خستگی و نبود تمرکز کافی به دلیل فشار کاری زیاد،

برنامه‌های پروازی غیراستاندارد و غیره.

هنگامی که یک هواپیما از نقطه الف به نقطه ب پرواز

می‌کند، کادر پرواز شامل خلبان، افسر اول، مهندس پرواز و

میهمانداران افرادی هستند که به طور مستقیم بر وضعیت پرواز

اثر دارند، بنابراین، ارتکاب هر خطایی از جانب آن‌ها می‌تواند

منجر به تهدید ایمنی پرواز شود. همانگونه که در شکل ۸ قابل

ملاحظه است، کادر پرواز به خصوص خلبان و کمک خلبان،

پرتکرارترین عامل انسانی اثرگذار در وقوع حوادث و سوانح

وخیم هوانوردی کشور ایران بوده‌اند؛ این اهمیت باید مدیران

این صنعت را به اتخاذ تدابیر لازم وادارد.

عملیات همه وسائل نقلیه ساخت بشر بر پایه نیرو است،

هواپیماها نیز برای بدست آوردن این نیرو، غلبه بر نیروی پایین

کننده هواپیما^{۵۴} و تامین بخشی از انرژی الکتریکی مورد

نیازشان در طول پرواز، از موتورها استفاده می‌کنند. هواپیماهای

مدرن امروزی از موتورهای توربوفن^{۵۵} و توربوپراپ^{۵۶} با

تکنولوژی فوق پیشرفته استفاده کرده و به سراسر دنیا سفر

می‌کنند؛ بنابراین هرگونه خرابی یا کارکرد نامناسب موتورها

می‌تواند عواقب خطرناکی داشته باشد. موتورهای مدرن قابلیت

اطمینان بسیار بالایی دارند اما همانگونه که در شکل ۹ دیده

می‌شود، خرابی و کارکرد نادرست موتورها پرتکرارترین عامل در

دسته عوامل ماشینی است.

همانطور که در شکل ۵ نشان دادیم، بیش از نیمی از

حوادث و سوانح وخیم هوایی در ایران، در فازهای برخاست و

فرود رخ داده‌اند. یکی از مهم‌ترین سیستم‌های هواپیما که به

طور مستقیم در این دو فاز دخیل است، سیستم ارباهای فرود

است. در اکثر هواپیماهای امروزی این سیستم از دو بخش

سیستم ارباه فرود اصلی که عموماً در بخش میانی و عقبی

هواپیما قرار دارند و سیستم ارباه فرود دماغه که در نوک

هواپیما قرار دارد می‌شود و هرکدام از این سیستم‌ها دارای

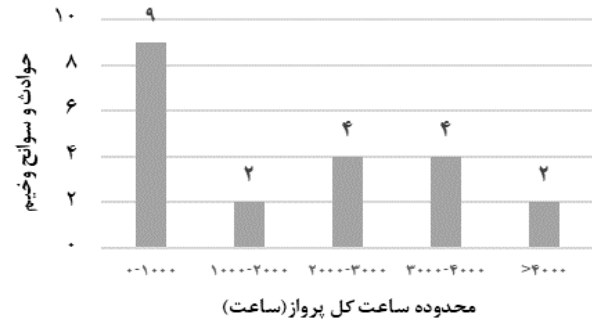
چندین زیر سیستم هستند. این سیستم وزن سنگین هواپیما و

فشار عظیم هنگام فرود و برخاست را تحمل کرده و مانع از

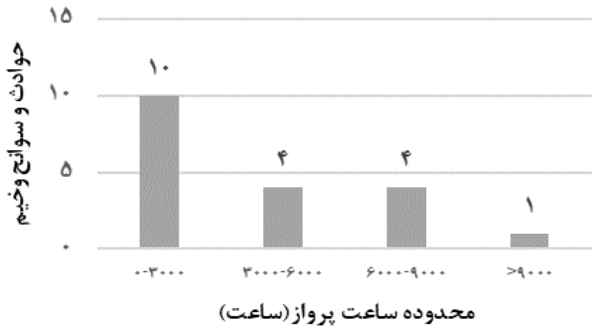
برخورد بدنه با زمین می‌شود. برطبق شکل ۹، سیستم ارباهای

فرود فروانی آماری یکسانی با عامل موتور دارد و در اینجا نیز

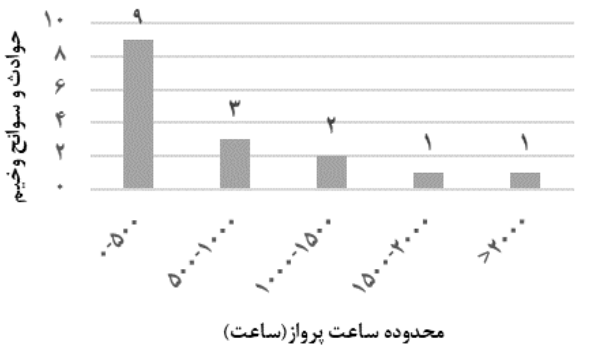
مجدداً قابل ذکر است که نگهداری و تعمیرات دقیق و منظم و



شکل ۱۴- کل ساعت پروازی کمک خلبان



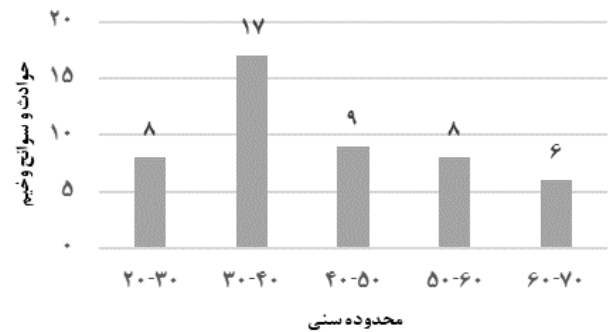
شکل ۱۵- کل ساعت پروازی خلبان بر روی تایپ هواپیما



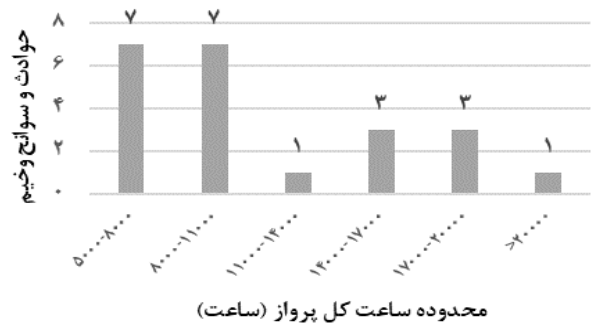
شکل ۱۶- کل ساعت پرواز کمک خلبان بر روی تایپ هواپیما

وقایع، بررسی می‌کنیم. همانطور که در شکل ۱۲ مشخص است، خلبانان و کمک خلبانان با رنج سنی ۳۰ الی ۴۰ سال، فراوانی بیشتری از نظر حضور در این وقایع داشته‌اند. به طور قطعی نمی‌توان اذعان کرد که کادر پروازی با سن بین ۳۰ تا ۴۰ سال خطرناک‌تری و نایم‌تر پرواز می‌کنند زیرا برای اثبات این حقیقت چندین عامل دیگر مانند تعداد خلبانان فعال در محدوده‌های سنی مختلف باید بررسی شوند، اما در مورد هوانوردی غیرنظامی ایران، طبق اطلاعات بدست آمده، خلبانان با سن بین ۳۰ تا ۴۰ سال به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر در وقایع رخ داده درگیر بوده‌اند.

براساس این یافته‌ها، می‌توان گفت که یک همبستگی قابل ملاحظه‌ای بین شاخص‌های کل ساعت پروازی و کل ساعت پرواز بر روی تایپ هواپیما با وقوع حوادث و سوانح وخیم وجود دارد که این بدان معناست که خلبانان و کمک خلبانان کم تجربه، به طور قابل ملاحظه‌ای آسیب‌پذیرتر و مستعد وقایع هستند.



شکل ۱۲- ارزیابی سن خلبانان



شکل ۱۳- کل ساعت پروازی خلبان

تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی و راه‌حل مصالحه‌ای ترکیبی

در این تحقیق ۷ خبره در روند انجام تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی شرکت داشته‌اند؛ ۵ نفر از دفتر بررسی سوانح و حوادث سازمان هواپیمایی کشوری، ۱ نفر از اساتید دانشکده صنعت هوانوردی کشوری و یک نفر از متخصصان نگاه‌داری و تعمیرات از شرکت ایران‌ایر. در خلال برگزاری جلسات و مشورت‌ها، در نهایت، ۲۵ حالت خرابی بر اساس نظرات خبرگان استخراج شدند و پس از آن، از خبرگان خواسته شد تا براساس مقیاس‌های معرفی شده برای معیارهای شدت اثر، وقوع و قابلیت تشخیص در جداول ۶، ۷ و ۸، به امتیازدهی این سه معیار برای هر حالت خرابی بپردازند.

جدول ۶-مقیاس امتیازدهی برای وقوع

امتیاز	شرح	احتمال رخداد
۱۰	بزرگتر یا مساوی ۱۰۰ مورد در هر ۱۰۰۰ سیکل پرواز	حتمی
۹	بزرگتر یا مساوی ۵۰ مورد در هر ۱۰۰۰ سیکل پرواز	بسیار زیاد
۸	بزرگتر یا مساوی ۲۰ مورد در هر ۱۰۰۰ سیکل پرواز	زیاد
۷	بزرگتر یا مساوی ۵ مورد در هر ۱۰۰۰ سیکل پرواز	نسبتا زیاد
۶	بزرگتر یا مساوی ۳ مورد در هر ۱۰۰۰ سیکل پرواز	متوسط
۵	بزرگتر یا مساوی ۲ مورد در هر ۱۰۰۰ سیکل پرواز	کم
۴	بزرگتر یا مساوی ۱ مورد در هر ۱۰۰۰ سیکل پرواز	خیلی کم
۳	بزرگتر یا مساوی ۰.۵ مورد در هر ۱۰۰۰ سیکل پرواز	بعید
۲	بزرگتر یا مساوی ۰.۱ مورد در هر ۱۰۰۰ سیکل پرواز	خیلی بعید
۱	بزرگتر یا مساوی ۰.۰۱ مورد در هر ۱۰۰۰ سیکل پرواز	غیرممکن

جدول ۷-مقیاس امتیازدهی برای قابلیت تشخیص

امتیاز	شرح	تشخیص
۱۰	کاملا غیر قابل تشخیص	کاملا غیر ممکن
۷	شانس تشخیص ناچیز است	خیلی کم
۵	با احتمال ۵۰/۵۰ تشخیص داده می شود	متوسط
۳	با احتمال بالا تشخیص داده می شود	زیاد
۱	حتما تشخیص داده می شود	حتمی

جدول ۸-مقیاس امتیازدهی برای شدت اثر

امتیاز	شرح	اثر
۱۰	عواقب وخیم، مرگ و میر زیاد، نابودی هواپیما بدون اخطار	فوق العاده زیاد
۹	عواقب وخیم، مرگ و میر زیاد، نابودی هواپیما با اخطار	خیلی زیاد
۸	عواقب جبران ناپذیر، صدمات انسانی وخیم مانند قطع عضو، صدمات اساسی به هواپیما و غیر قابل استفاده شدن آن	نسبتا زیاد
۷	عواقب، صدمات انسانی و مالی شدید به هواپیما	زیاد
۶	عواقب قابل توجه، صدمات انسانی نیازمند مراقبت ویژه صدمات زیاد به هواپیما نیاز به تعمیر اساسی	متوسط
۵	عواقب و صدمات انسانی متوسط، آسیب های محدود به هواپیما	کم
۴	عواقب و صدمات سبک به هواپیما و انسان مانند کبودی و زخم	نسبتا کم
۳	عواقب و صدمات خفیف به انسان و هواپیما	خیلی کم
۲	عواقب و آسیب ها کم و قابل چشم پوشی	فوق العاده کم
۱	بدون آسیب به انسان و هواپیما	بدون اثر

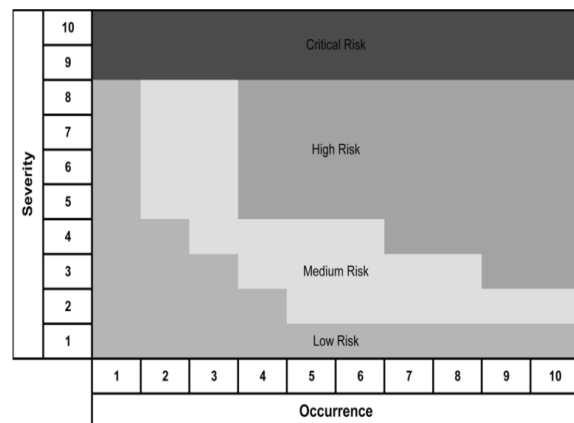
برای پیاده سازی تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی، طی جلساتی که با خبرگان مربوطه برگزار شد، ابتدا پرسشنامه این تکنیک توزیع شده و از خبرگان خواسته شد تا در مرحله اول، در مورد حالات خرابی در نظر گرفته شده در این تحقیق به اتفاق نظر برسند. بدین منظور برخی از حالات خرابی که از نظر خبرگان ضرورتی برای حضور در این تحقیق نداشته اند از روند آن خارج و اگر موردی از دید خبرگان برای حضور در این تحقیق ضروری دانسته شده است، به لیست حالات خرابی مدنظر اضافه شده اند. پس از آنکه در مورد حالات خرابی موثر در وقوع حوادث و سوانح هوانوردی غیرنظامی ایران میان خبرگان اتفاق نظر حاصل شد، در مرحله بعد از آن ها خواسته شد تا مطابق نظر شخصی خود، بنابر معیارهای امتیازدهی معرفی شده در پرسشنامه، به تعیین امتیاز معیارهای سه گانه برای هر حالت خرابی بپردازند. در خلال انجام امتیازدهی توسط خبرگان، گرداننده تیم که همان محقق این پژوهش بوده است، با حضور در کنار خبرگان، ابهامت موجود در مورد حالات خرابی، مقیاس ها و ... را برطرف کرده و به ایجاد هماهنگی و تعاملات سازنده میان خبرگان کمک کرده است.

برای دستیابی به نتایج این بخش، الگوریتم توضیح داده شده برای تکنیک تجزیه و تحلیل حالات خرابی در بخش های اول این پژوهش، مرحله به مرحله اجرا شده است به طوری که توضیحات و نتایج حاصل از آن در ادامه ذکر شده اند. جداول امتیازدهی معرفی شده در این بخش، براساس مورد مطالعه این تحقیق که مربوط به صنعت هوانوردی است، به طور اختصاصی تدوین شده است. برای ادغام نظرات خبرگان در این تحقیق، با استفاده از روش میانگین گیری ساده^{۵۸} مقادیر نهایی شاخص های شدت اثر، وقوع و قابلیت تشخیص بدست آمده اند. پس از آن، مقدار عدد اولویت ریسک برای هر یک از حالات خرابی با استفاده از رابطه (۱)، محاسبه شده است. در مرحله بعد، حالات خرابی براساس عدد اولویت ریسک مربوطه شان مطابق آنچه در جدول ۹ نشان داده شده است، رتبه بندی می شوند. علاوه بر این موارد، در این تحقیق وضعیت بحرانیات هر یک از حالات خرابی نیز براساس مقادیر شدت اثر (S) و وقوع (O) با استفاده از شکل ۱۷ مشخص می شوند.

جدول ۹- نتایج تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی

شماره	حالت خرابی	شدت اثر	وقوع	قابلیت تشخیص	عدد اولویت ریسک	بحرانیت
۱	خرابی در سیستم ارايه فرود اصلی	۷.۰۰	۵.۷۱	۳.۲۹	۱۳۱.۴۳	High risk
۲	خرابی در موتورها و از دست دادن نیرو	۷.۰۰	۵.۰۰	۳.۵۷	۱۲۵.۰۰	High risk
۳	خرابی در سیستم هیدرولیک	۵.۸۶	۵.۱۴	۳.۷۱	۱۱۱.۸۸	High risk
۴	ایجاد وضعیت واماندگی	۹.۱۴	۳.۲۹	۲.۴۳	۷۲.۹۶	Critical risk
۵	خرابی و شکست قطعه torsion link	۶.۸۶	۴.۰۰	۵.۷۱	۱۵۶.۷۳	High risk
۶	خرابی در سیستم ضد لغزش	۶.۱۴	۴.۵۷	۳.۵۷	۱۰۰.۲۹	High risk
۷	خرابی در سیستم کنترل الکترونیکی موتور	۵.۷۱	۳.۴۳	۳.۵۷	۶۹.۹۷	Medium risk
۸	شکستن دیسک ردیف اول کمپرسور کم فشار موتور	۸.۱۴	۳.۷۱	۳.۲۹	۹۹.۳۸	Medium risk
۹	خرابی و از دست دادن سطوح کنترل هواپیما	۸.۸۶	۲.۸۶	۳.۰۰	۷۵.۹۲	Medium risk
۱۰	پارگی لوله‌های سوخت	۷.۴۳	۳.۲۹	۳.۸۶	۹۴.۱۵	Medium risk
۱۱	خرابی در سیستم ترمزها	۶.۷۱	۴.۷۱	۳.۰۰	۹۴.۹۶	High risk
۱۲	خطای خلبان: فرود با سرعت و ارتفاع نامناسب	۷.۲۹	۴.۸۶	۳.۲۹	۱۱۶.۲۷	High risk
۱۳	خطای خلبان: بالا آوردن بیش از حد دماغه هنگام فرود	۶.۴۳	۴.۴۳	۳.۲۹	۹۳.۵۴	High risk
۱۴	خطای خلبان: عدم پیروی از دستورالعمل‌ها	۷.۱۴	۵.۲۹	۳.۸۶	۱۴۵.۶۳	High risk
۱۵	خطای خلبان: تلاش برای فرود در فرودگاه غیرمجاز	۹.۰۰	۳.۸۶	۳.۰۰	۱۰۴.۱۴	Critical risk
۱۶	خطای کنترل هوایی: برنامه‌ریزی نادرست پروازهای ورودی و خروجی	۷.۸۶	۳.۰۰	۳.۲۹	۷۷.۴۵	Medium risk
۱۷	خطای خلبان: تصمی‌گیری نادرست	۶.۲۹	۴.۲۹	۳.۲۹	۸۸.۵۱	High risk
۱۸	خطای خلبان: bounce هواپیما و برخورد دم هواپیما با زمین هنگام فرود	۶.۴۳	۴.۰۰	۲.۷۱	۶۹.۸۰	High risk
۱۹	خطای کنترل هوایی: عدم تغییر باند فرود	۵.۸۶	۳.۵۷	۲.۷۱	۵۶.۷۸	Medium risk
۲۰	خطای خلبان: ایجاد شرای هجوم به باند	۷.۴۳	۴.۲۹	۱.۸۶	۵۹.۱۳	High risk
۲۱	خطای پرسنل زمینی: عدم اندازه‌گیری میزان breaking action و اطلاع- رسانی به کادر پرواز	۶.۲۹	۳.۴۳	۳.۴۳	۷۳.۸۹	Medium risk
۲۲	خطای خلبان: محاسبه نادرست وزن کلی پرواز	۷.۲۹	۳.۲۹	۳.۸۶	۹۲.۳۴	Medium risk
۲۳	خطای خلبان: پرواز با وجود خستگی و فشار کاری زیاد	۷.۰۰	۴.۵۷	۳.۸۶	۱۲۳.۴۳	High risk
۲۴	خطای پرسنل فنی: نصب نادرست اتصالات سیستم هیدرولیک	۷.۴۳	۳.۷۱	۴.۱۴	۱۱۴.۳۱	Medium risk
۲۵	فعال کردن سیستم معکوس کننده نیروی موتور در حین پرواز	۹.۱۴	۱.۸۶	۲.۱۴	۳۶.۳۸	Critical risk

همچنین، در ۵ رتبه بالای این حالات خرابی، ۳ حالت خرابی مربوط به عوامل انسانی دیده می‌شود. حالات خرابی شماره ۴، ۱۵ و ۲۵ به عنوان Critical risk از نظر بحرانیت شناخته شده‌اند. به دلیل حساسیت‌های موجود در وقایع صنعت هوانوردی، اکثر حالات خرابی ارزیابی شده در این تحقیق، به عنوان عواملی با بحرانیت High risk و Critical risk تمییز داده شده‌اند؛ به اضافه اینکه، همانطور که در جدول ۹ قابل ملاحظه است، مقادیر شدت اثر برای همه حالات خرابی بیشتر از ۵ و مقادیر وقوع و قابلیت تشخیص مقدار ۵ و کمتر از آن هستند. این مسئله بیان کننده آن است که باوجود اینکه خطاها و خرابی‌ها در صنعت هوانوردی غیرنظامی در اکثر موارد نادر و قابل تشخیص هستند، اما شدت اثر و عواقب آن‌ها معمولاً می‌تواند مخاطره‌انگیز باشد. همچنین این موضوع ثابت می‌کند



شکل ۱۷- تحلیل بحرانیت

همانطور که در جدول ۹ نمایش داده شده است، حالات خرابی مربوط به عوامل انسانی بیشتر از عوامل ماشینی هستند؛

جدول ۹ استفاده کنیم با فرض اینکه حالات خرابی به عنوان گزینه‌های ماتریس و شاخص‌های شدت اثر، وقوع و قابلیت تشخیص نیز به عنوان معیارهای تکنیک تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شوند.

حال باتوجه به اینکه ماتریس تصمیم‌گیری مورد نظر موجود است، با استفاده از روابط (۳) و (۴)، مقادیر نرمال شده این معیارها را برای هر حالت خرابی محاسبه می‌کنیم. در این تحقیق برای محاسبه وزن معیارها از روش آنتروپی برطبق [۱۷] عمل شده است. نتایج این روش به طور کامل در جداول ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ معرفی شده‌اند.

که همه‌ی خطاها و خرابی‌ها در صنعت هوانوردی دارای اهمیت کافی برای در نظر گرفتن و تحلیل کردن هستند. بررسی‌ها، ارزیابی‌ها و توصیه‌های بیشتر در مورد این حالات خرابی در بخش‌های قبل تشریح داده شده‌اند.

حال در این بخش، به دنبال رتبه‌بندی حالات خرابی با استفاده از روش راه‌حل مصالحه‌ای ترکیبی هستیم؛ بدین منظور مطابق الگوریتم معرفی شده برای این روش در بخش‌های قبل به صورت مرحله به مرحله اقدام می‌کنیم. در ابتدا براساس رابطه (۲) این تحقیق ماتریس تصمیم‌گیری را ایجاد می‌کنیم. برای اینکار می‌توانیم از اطلاعات موجود در

جدول ۱۰-مقادیر نرمال شده معیارها

شماره حالت خرابی	شدت اثر	وقوع	قابلیت تشخیص
۱	۰.۳۷۶	۱.۰۰۰	۰.۳۷۰
۲	۰.۳۷۶	۰.۸۱۵	۰.۴۴۴
۳	۰.۰۴۳	۰.۸۵۳	۰.۴۸۲
۴	۱.۰۰۰	۰.۳۷۰	۰.۱۴۸
۵	۰.۳۳۴	۰.۵۵۶	۱.۰۰۰
۶	۰.۱۲۶	۰.۷۰۵	۰.۴۴۴
۷	۰.۰۰۰	۰.۴۰۷	۰.۴۴۴
۸	۰.۷۰۹	۰.۴۸۲	۰.۳۷۰
۹	۰.۹۱۸	۰.۲۶۰	۰.۲۹۶
۱۰	۰.۵۰۱	۰.۳۷۰	۰.۵۱۹
۱۱	۰.۲۹۳	۰.۷۴۱	۰.۲۹۶
۱۲	۰.۴۵۹	۰.۷۷۹	۰.۳۷۰
۱۳	۰.۲۰۹	۰.۶۶۷	۰.۳۷۰
۱۴	۰.۴۱۸	۰.۸۸۹	۰.۵۱۹
۱۵	۰.۹۵۹	۰.۵۲۰	۰.۲۹۶
۱۶	۰.۶۲۶	۰.۲۹۶	۰.۳۷۰
۱۷	۰.۱۶۸	۰.۶۳۰	۰.۳۷۰
۱۸	۰.۲۰۹	۰.۵۵۷	۰.۲۲۲
۱۹	۰.۰۴۳	۰.۴۴۴	۰.۲۲۲
۲۰	۰.۵۰۱	۰.۶۳۰	۰.۰۰۰
۲۱	۰.۱۶۸	۰.۴۰۸	۰.۴۰۷
۲۲	۰.۴۵۹	۰.۳۷۰	۰.۵۱۹
۲۳	۰.۳۷۶	۰.۷۰۴	۰.۵۱۹
۲۴	۰.۵۰۱	۰.۴۸۲	۰.۵۹۳
۲۵	۱.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۷۴

جدول ۱۱- اوزان معیارها بوسیله روش آنتروپی

معیار	شدت اثر	وقوع	قابلیت تشخیص
وزن	۰.۳۳۵	۰.۳۳۲	۰.۳۳۳

جدول ۱۲- نتایج تکنیک راه حل مصالحه‌های ترکیبی

شماره حالت خرابی	S_i	P_i	K_{ia}	K_{ib}	K_{ic}	K_i
۱	۰.۵۸۱	۲.۴۲۹	۰.۰۴۵۷۵۸	۴.۱۴۰۹۱۹	۰.۹۶۰۰۹۴	۲.۲۸۲۲۰۹
۲	۰.۵۴۵	۲.۴۱۸	۰.۰۴۴۸۸۵	۳.۹۷۰۶۳۶	۰.۹۴۱۷۹	۲.۲۰۴۰۵۶
۳	۰.۴۵۸	۲.۰۸۱	۰.۰۳۸۴۶۵	۳.۳۷۲۲۰۹	۰.۸۰۷۰۷۶	۱.۸۷۷۲۱۷
۴	۰.۵۰۷	۲.۲۴۹	۰.۰۴۱۷۵۱	۳.۶۹۶۲۱۹	۰.۸۷۶۰۲۶	۲.۰۵۱۲۳۱
۵	۰.۶۳۰	۲.۵۱۶	۰.۰۴۷۶۴۷	۴.۳۹۷۶۳۳	۰.۹۹۹۷۳۳	۲.۴۰۸۹۰۳
۶	۰.۴۲۴	۲.۱۵۴	۰.۰۳۹۰۵۶	۳.۲۷۹۳۹۳	۰.۸۱۹۴۷۳	۱.۸۵۱۰۱۲
۷	۰.۲۸۳	۱.۵۰۶	۰.۰۲۷۱۰۱	۲.۲۳۵۹۰۶	۰.۵۶۸۶۳۳	۱.۲۶۹۲۸۴
۸	۰.۵۲۱	۲.۳۹۴	۰.۰۴۴۱۶۲	۳.۸۵۳۶۰۷	۰.۹۲۶۶۱۲	۲.۱۴۸۳۸۹
۹	۰.۴۹۲	۲.۲۷۸	۰.۰۴۱۹۶۴	۳.۶۵۲۵۸۲	۰.۸۸۰۵۰۶	۲.۰۳۷۹۶۳
۱۰	۰.۴۶۴	۲.۳۱۶	۰.۰۴۲۱۰۸	۳.۵۵۶۹۲۵	۰.۸۸۳۵۲۴	۲.۰۰۳۷۷۵
۱۱	۰.۴۴۳	۲.۲۳۵	۰.۰۴۰۵۶۳	۳.۴۱۲۹۴۴	۰.۸۵۱۰۹۸	۱.۹۲۵۱۱۳
۱۲	۰.۵۳۶	۲.۴۱۰	۰.۰۴۴۶۲۲	۳.۹۲۸۲۰۵	۰.۹۳۶۲۷۲	۲.۱۸۳۸۶۴
۱۳	۰.۴۱۵	۲.۱۸۵	۰.۰۳۹۳۸۴	۳.۲۶۰۶۴۷	۰.۸۲۶۳۶۷	۱.۸۴۸۹۰۸
۱۴	۰.۶۰۸	۲.۵۱۲	۰.۰۴۷۲۵۸	۴.۳۰۲۷۲۳	۰.۹۹۱۵۷۱	۲.۳۶۶۸۹۸
۱۵	۰.۵۹۲	۲.۴۵۸	۰.۰۴۶۲۰۸	۴.۲۰۰۸۵۵	۰.۹۶۹۵۴۸	۲.۳۱۱۹۴۲
۱۶	۰.۴۳۱	۲.۲۴۱	۰.۰۴۰۴۸۵	۳.۳۶۹۳۹۴	۰.۸۴۹۴۶۴	۱.۹۰۷۳۰۶
۱۷	۰.۳۸۹	۲.۱۲۶	۰.۰۳۸۰۹۵	۳.۱۰۸۹۶۶	۰.۷۹۹۳۳۶	۱.۷۷۱۲۲۴
۱۸	۰.۳۲۹	۲.۰۲۲	۰.۰۳۵۶۱۱	۲.۷۸۴۴۶۲	۰.۷۴۷۱۸۹	۱.۶۰۹۰۸۹
۱۹	۰.۲۳۶	۱.۷۱۸	۰.۰۲۹۶۰۵	۲.۱۸۱۵۹۱	۰.۶۲۱۱۸۳	۱.۲۸۶۴۶۴
۲۰	۰.۳۷۷	۱.۶۸۴	۰.۰۳۱۲۲۸	۲.۷۵۵۵۹۴	۰.۶۵۵۲۳	۱.۵۳۰۸۰۸
۲۱	۰.۳۲۷	۲.۰۳۴	۰.۰۳۵۷۷۸	۲.۷۸۶۵۱۱	۰.۷۵۰۶۹۶	۱.۶۱۲۴۱۲
۲۲	۰.۴۵۰	۲.۲۹۳	۰.۰۴۱۵۵۳	۳.۴۸۲۱۷	۰.۸۷۱۸۶۳	۱.۹۶۶۷۲۷
۲۳	۰.۵۳۲	۲.۴۱۴	۰.۰۴۴۶۳۷	۳.۹۱۵۹۷۲	۰.۹۳۶۵۷۸	۲.۱۷۹۴۴۳
۲۴	۰.۵۲۵	۲.۴۱۹	۰.۰۴۴۵۹۷	۳.۸۸۹۴۵۸	۰.۹۳۵۷۴۹	۲.۱۶۸۷۵۷
۲۵	۰.۳۶۰	۱.۴۵۴	۰.۰۲۷۴۷۹	۲.۵۲۴۲۶	۰.۵۷۶۵۷۲	۱.۳۸۴۷۴۷

اثرات خرابی به ترتیب برابرند با خطای خلبان در عدم پیروی از دستورالعمل‌ها (۱۴)، خرابی سیستم ارباه‌های فرود (۱)، خرابی در موتورها (۲) و خطای خلبان در پرواز با وجود خستگی و فشار کاری زیاد (۲۳) و در روش راه‌حل مصالحه‌های ترکیبی برابرند با خطای خلبان در عدم پیروی از دستورالعمل‌ها (۱۴)، خطای خلبان در تلاش برای فرود در فرودگاه غیرمجاز (۱۵) خرابی در سیستم ارباه‌های فرود (۷)، خرابی در موتورها (۲). رتبه‌بندی‌های بدست آمده در مورد اکثر حالات خرابی در دو روش مقادیر نزدیکی بوده است، کماینکه در مورد برخی موارد نیز اختلافات جزئی دیده می‌شود که از جمله دلایل آن می‌توان به ماهیت روش‌های تصمیم‌گیری در در نظر گرفتن شاخص‌های مختلف در روند انجام آن‌ها اشاره کرد؛ همچنین، همانطور که در جدول ۹ مشخص است، مقادیر بدست آمده برای سه معیار موردنظر برطبق نظرات خبرگان، در برخی موارد اختلافات زیادی بین یک معیار و دو معیار دیگر دیده می‌شود که این

همانطور که مشاهده می‌شود، وزن بدست آمده برای سه معیار تحقیق از روش آنتروپی در جدول ۱۱ مشخص شده‌اند. نتایج نهایی این تکنیک با پیشروی از روی الگوریتم معرفی شده به صورت جدول ۱۲ بدست آمده‌اند. لازم به ذکر است که در این روش، معیارهای شدت‌اثر و وقوع و قابلیت تشخیص به عنوان معیارهای مثبت در فرآیند انجام تکنیک تحلیل ریسک‌ها، در نظر گرفته شده‌اند؛ همچنین مقدار λ مورد استفاده در رابطه (۹) برابر ۰.۵ فرض شده‌است. رتبه‌بندی‌های بدست آمده از طریق این دو روش و مقایسه آن‌ها در جدول ۱۳ نمایش داده شده‌است.

بنابر نتایج بدست آمده در جدول ۱۳، مهم‌ترین حالت خرابی که رتبه اول را در هر دو روش بدست آورده است، مورد شماره ۵ یعنی خرابی و شکست قطعه torsion link است. چهار رتبه بعدی بدست آمده در روش تجزیه و تحلیل حالات و

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

یکی از محدودیت‌های موجود در انجام این تحقیق فقدان وجود گزارشات رسمی مراجع داخلی برای تعدادی از سوانح و حوادث بود که می‌توانست منجر به گسترش و افزایش هرچه بیشتر دقت نتایج این تحقیق شود، اگرچه در برای رویارویی با این چالش، محققین با استفاده از منابع معتبر خارجی این فقدان را جبران کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که اولاً، نیروی انسانی مهم‌ترین عامل در بروز حوادث و سوانح وخیم هوانوردی غیرنظامی در ایران است، دوماً، فوکر ۱۰۰ درگیرترین نوع هواپیما در وقایع ذکر شده است. از نقطه نظر فازهای پرواز، فرود و برخاست به عنوان خطرناک‌ترین و مستعدترین مراحل پرواز برای بروز وقایع هستند. در ادامه نتایج این تحقیق نیز، ما ارزیابی‌های آماری در خصوص گروه‌ها و زیرگروه‌های مختلف، سن و تجربه خلبانان ارائه داده‌ایم. در بخش اصلی این پژوهش، به پیاده‌سازی تکنیک تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی و راه‌حل مصالحه‌ای ترکیبی برای ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها پرداختیم؛ که در این راه، در میان ۲۵ مورد از حالات خرابی استخراج شده، خرابی و شکستن قطعه Torsion link، خطای خلبان در عدم پیروی از دستورالعمل‌ها، خطای خلبان در تلاش برای فرود در فرودگاه غیر مجاز و خرابی در موتور و سیستم ارباب فرود به عنوان مهم‌ترین موارد معرفی شدند با این امید که این تحقیق به ایمن‌تر شدن هوانوردی در ایران کمک کند.

پی‌نوشت‌ها

- ۱ Accident
- ۲ Occurrence
- ۳ Incident
- ۴ Airline
- ۵ Failure Modes and Effect Analysis (FMEA)
- ۶ Criticality Degree
- ۷ Risk Priority Number
- ۸ Multi-Attribute Decision Making
- ۹ Combined Compromise Solution
- ۱۰ Serious Incident
- ۱۱ Data-Mining
- ۱۲ Machine Learning
- ۱۳ National Transportation Safety Board
- ۱۴ Word Embedding

مسئله نیز به نوبه خود در ایجاد اختلافات جزئی بین نتایج بدست آمده از دو روش، موثر است.

جدول ۱۳-رتبه‌بندی با تکنیک‌های تحقیق

شماره خرابی	رتبه با FMEA	رتبه با CoCoSo
۱	۳	۴
۲	۴	۵
۳	۸	۱۶
۴	۲۰	۱۰
۵	۱	۱
۶	۱۰	۱۷
۷	۲۱	۲۵
۸	۱۱	۹
۹	۱۸	۱۱
۱۰	۱۳	۱۲
۱۱	۱۲	۴
۱۲	۶	۶
۱۳	۱۴	۱۸
۱۴	۲	۲
۱۵	۹	۳
۱۶	۱۷	۱۵
۱۷	۱۶	۱۹
۱۸	۲۲	۲۱
۱۹	۲۴	۲۴
۲۰	۲۳	۲۲
۲۱	۱۹	۲۰
۲۲	۱۵	۱۳
۲۳	۵	۷
۲۴	۷	۸
۲۵	۲۵	۲۳

یکی از برتری‌های استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری به همراه تجزیه و تحلیل حالات و اثرات خرابی این است که این تکنیک‌ها معیارها و شاخص‌ها را در نظر می‌گیرند و وزن‌های مختلفی را به آن‌ها اختصاص می‌دهند که این اوزان ممکن است براساس نظرات خبرگان یا روش‌های محاسباتی ریاضی بدست آیند؛ همچنین در این تکنیک می‌توانیم با در نظر گرفتن معیارهای مثبت و منفی، به نتایج دقیق‌تری نائل آییم.

- ۵۵ Turbofan
- ۵۶ Turboprop
- ۵۷ Aircraft Manual
- ۵۸ Simple Averaging

مراجع

[۱] S., Prabhakar, V. Nagarajan and S. Mahadevan, "Mining and classifying aviation accident reports," *AIAA aviation 2019 forum*. 2019.

[۲] D., El and Y. El Osman, "Application of AHP method for failure modes and effect analysis (FMEA) in aerospace industry for aircraft landing system," MS thesis. Eastern Mediterranean University (EMU)-Doğu Akdeniz Üniversitesi (DAÜ), 2017.

[۳] A. Jose, S. Donghui, G. de Mesa, Jose and C. Danilo, "An architecture to analyze aviation incidents," *2017 Contemporary Engineering Sciences (IF)*.

[۴] M. Rezaee, M. Jahangoshai and S. Yousefi, "An intelligent decision-making approach for identifying and analyzing airport risks," *Journal of Air Transport Management* 68 (2018), 14-27.

[۵] M. Yazdi, M. Sahand Daneshvar and H. Setareh, "An extension to fuzzy developed failure mode and effects analysis (FDFMEA) application for aircraft landing system," *Safety Science* 98 (2017), 113-123.

[۶] H. Sayyadi Tooranloo and H. Arezoo Sadat Ayatollah, and Somayeh Alboghobish. "Evaluating knowledge management failure factors using intuitionistic fuzzy FMEA approach," *Knowledge and Information Systems* 57.1 (2018), 183-205.

[۷] A. Ghousechi, S. Jafarzadeh, et al. "Evaluation of wind turbine failure modes using the developed SWARA-CoCoSo methods based on the spherical fuzzy environment," *IEEE Access* 10 (2022), 86750-86764.

[۸] ICAO. (1994). *Aircraft accident investigation: Annex 13 to the Convention on International Civil Aviation*. (8th ed.). Montreal: International Civil Aviation Organisation.

[۹] ICAO. 2013. *Aviation Occurrence Categories, Definitions and Usage Notes* (4.6). Montreal: Common Taxonomy Team, ICAO.

[۱۰] M. Yazdani, et al., "A Combined Compromise Solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems," *Management Decision* (2018).

[۱۱] Icao. int. 2022. *Accident statistics*. [Online] Available at: <<https://www.icao.int/safety/iStars/Pages/Accident-Statistics.aspx/>> [Accessed 1 September 2022].

[۱۲] Caa.gov.mv. 2022. *Accidents & incidents - CAA*. [Online] Available at:

- ۱۵ Failure Mode and Effects Analysis
- ۱۶ Fuzzy System
- ۱۷ Analytic Hierarchy Process
- ۱۸ Fuzzy Cognitive Map
- ۱۹ National Aeronautics and Space Administration
- ۲۰ Aviation Safety Report System
- ۲۱ Slack-Based Data Envelopment Analysis
- ۲۲ Risk Priority Number
- ۲۳ Intuitionistic Fuzzy Stes
- ۲۴ Intuitionistic Fuzzy Topsis
- ۲۵ Spherical Fuzzy Sets
- ۲۶ International Civil Aviation Organization
- ۲۷ Ground Occurrence
- ۲۸ Airprox
- ۲۹ Aviation Occurrence Categories
- ۳۰ Commercial Aviation Safety Team
- ۳۱ Common Taxonomy Team
- ۳۲ Runway Incursion
- ۳۳ Runway Excursion
- ۳۴ Undershoot/ Overshoot
- ۳۵ Turbulence
- ۳۶ Wind shear
- ۳۷ Iranian Airways
- ۳۸ Iran Air (CRM)
- ۳۹ Overrun
- ۴۰ Taxi out
- ۴۱ Cruise
- ۴۲ Taxi in
- ۴۳ Approach
- ۴۴ Departure
- ۴۵ Aviation Safety Network
- ۴۶ Cockpit Resource Management
- ۴۷ Pitch-up
- ۴۸ Stall
- ۴۹ Auto-Pilot
- ۵۰ Thrust Reverse
- ۵۱ Unreliable Airspeed
- ۵۲ Anti Skid
- ۵۳ Mountain Wave
- ۵۴ Drag Force

[۱۵] R. Petty, Kevin and C. DJ Floyd, "A statistical review of aviation airframe icing accidents in the US," Proceedings of the 11th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Hyannis. 2004.

[۱۶] L., Wen-Kuei, "Risk assessment modeling in aviation safety management," *Journal of Air Transport Management* 12.5 (2006), 267-273.

[۱۷] L. F. Hosseinzadeh and R. Fallahnejad, "Imprecise Shannon's entropy and multi attribute decision making," *Entropy* 12.1 (2010), 53-62.

<<https://www.caa.gov.mv/accidents-incidents>>

[Accessed 1 September 2022].

[۱۳] Icao. int. 2022. *E-library of Final Reports*. [Online]

Available at:

<<https://www.icao.int/safety/airnavigation/AIG/Pages/E-library-of-Final-Reports.aspx>> [Accessed 1 September 2022].

[۱۴] H. Ranter, 2022. *Aviation Safety Network > ASN Safety Databases*. [Online] Aviation-safety.net.

Available at: <<https://aviation-safety.net/database/databases.php>> [Accessed 1 September 2022].