مدل‌سازی سوانح بالگرد با رویکرد مبتنی بر حالت با استفاده از یادگیری ماشینی

حامد رحمانی[1]، سیدمجید میرحسینی[2]، محسن دهقانی محمدآبادی[3]

۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

۲ کارشناسی ارشد سوانح هوایی، دانشکده پرواز، دانشگاه هوایی شهید ستاری، تهران، ایران

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

چکیده

تاکنون تلاش‌های تحقیقاتی بسیاری برای درک دلایل وقوع سوانح هوایی انجام شده است. درحالی‌که در برخی از مطالعات، بینش‌های مفیدی پیرامون سوانح ارائه شده است، اما اگر به آن‌ها از دید مبتنی بر رویداد نگاه گردد این گزارشات درک صحیحی از سوانح را ارائه نمی‌دهند. سوانح هوايي در ايران به‌ويژه در دو دهه اخير كاهش معني‌داري را در تعداد سوانح و يا تلفات ناشي از آن‌ها نشان نمي‌دهد؛ از همين‌رو در اين پژوهش به مهم‌ترين دلايل عمده‌ي وقوع سوانح هوايي بالگرد در كشورمان، ايران، پرداخته شده‌است. به این منظور در ابتدا، با استفاده از نرم‌افزار استاتیستیکا، حالت‌ها و عواملی که احتمالاً با سوانح مرگبار و غیرمرگبار مرتبط هستند شناسایی می‌شوند؛ در این نرم‌افزار به‌طور خودکار حالت‌ها، نشانه‌ها و کدهای اطلاعات مربوط به سوانح در یک پایگاه داده شناسایی شده و اطلاعات به صورت خودکار طبقه‌بندی می‌شود. مدل تولید شده توسط این نرم افزار، برای ۶۲۰۰ سانحه بالگرد که در بین سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۲۰ رخ داده است، اعمال شده‌است. برای درک بهتر دلایل وقوع سوانح، یک رویکرد مبتنی بر حالت برای بررسی شکاف‌های منطقی موجود یا موارد نادیده گرفته شده ارائه گردیده و سوابقی که به‌طور بالقوه پر از اشتباهات است مورد بررسی قرار می‌گیرد. هم‌چنین روش هستی‌شناسی سوانح هوایی و مدل‌سازی مبتنی بر حالت با ابزار یادگیری ماشین که روشی نوین در این حوزه بوده برای دستیابی به نتایج مطلوب‌تر بکار گرفته شده‌است.

واژگان کلیدی

مدل‌سازی سوانح هوایی، بالگرد، هستی‌شناسی سوانح، رویکرد مبتنی بر حالت

۱. مقدمه

اهمیت استقرار نظام ایمنی با رویکرد پیشگیری از بروز سوانح هوایی، با انتشار سند شماره ۹۸۵۹ ایکائو با عنوان «راهنمای مدیریت ایمنی» اجرایی گردید. همچنین طرح مسائلی از جمله دسته‌بندی انواع خطرات شامل خطرات طبیعی، خطرات فنی، خطرات اقتصادی، چگونگی شناسایی خطرات و همچنین تدوین ریسک‌های ایمنی چارچوب‌های اجرای نظام ایمنی شکل گرفت. ریسک‌های ایمنی سعی در شناسایی و دسته‌بندی انواع مخاطرات بدنهٔ اصلی هر مقاله با مقدمه آغاز می‌شود. در این بخش از مقاله، مسئلهٔ اصلی تحقیق، روش و راهکار معرفی می‌شود. این بخش دقیقاً پس از چکیده و واژگان کلیدی، در یک یا چند پاراگراف، می‌آید و خلأ آگاهی میان نویسنده و خواننده را پر می‌کند [۱]. معمولاً نویسندگان خبره و توانمند مقدمهٔ مقالهٔ خود را به‌گونه‌ای می‌نویسند که برای خواننده پرسشی ایجاد کند و او را برای یافتن پاسخ و مطالعهٔ مقاله ترغیب نماید. برای این منظور، گاه مقدمه با اطلاعاتی جالب توجه آغاز می‌شود که البته ایمنی به‌منظور استقرار و اجرای صحیح سیستم مدیریت ایمنی دارد. اهمیت بحث ایمنی در هوانوردی با الزام استقرار سیستم مدیریت ایمنی در کشورهای عضو شروع شد. در همین راستا ایکائو در سال ۱۳۹۲ نوزدهمین ضمیمه خود را به مبحث مدیریت ایمنی اختصاص داد [۱]. تحقیقات گسترده‌ای برای بهبود ایمنی بالگرد از طریق تجزیه و تحلیل سوانحی که درگذشته به وقوع پیوسته، انجام شده است. مطالعات متعددی، افزایش ریسک‌های پرواز را ناشی از منابع مختلف مانند رفتار خلبان، سیستم‌های مکانیکی، نوع مأموریت و زمان‌های عملیات در نظر گرفته‌اند [۲-۴]. برخی از آن‌ها توصیه‌هایی را برای بهبود ایمنی بالگرد، شامل مدیریت بهتر منابع خدمه، آموزش پیشرفته خلبانان، مدیریت سوخت و تعمیر و نگهداری مکرر، برای اطمینان از سلامت اجزای پرواز بیان کرده‌اند [۵]. گروه تجزیه و تحلیل داده‌های بالگرد ایالات‌متحده [۶] ۴۱۵ سانحه بالگرد که بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ رخ داده است را مورد مطالعه قرار داد. نتایج آن‌ها نشان داد که از دست دادن کنترل پرواز نه تنها علت اصلی بیشتر سوانح بود، بلکه درصد بیشتری از سوانح رخ داده را شامل می‌شد (۴۷.۵٪ در مقایسه با ۴۱٪ مطالعات دیگر).

اطلاعات محدود از دلایل سوانح هوایی، این سؤال را مطرح می‌کند که چرا ما از سوانح هوایی به وقوع پیوسته اطلاعات بیشتری بدست نمی‌آوریم؟ پاسخ‌های بالقوه متعددی برای این سؤال وجود دارد. یکی از دلایل این امر می‌تواند این باشد که ماهیت تحقیقات و گزارشات به‌طور بالقوه درک ما از عوامل سوانح را محدود می‌کند. دلیل دیگر، درک محدودی از علل احتمالی است که می‌تواند به دلیل تمایل به تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های اندک سانحه (به عنوان مثال، شدت آسیب های خاص یا مدل بالگرد و هواپیما) و نتیجه‌گیری از این داده‌های خاص باشد. در بسیاری از موارد، کارشناسان از نتایج این تحلیل‌ها برای پیشنهاد استراتژی‌های امنیتی و بهبود ایمنی استفاده می‌کنند. در حالی که این اقدامات مربوط به رعایت موارد ایمنی ویژه (مانند ایجاد مخازن سوخت مقاوم در برابر آتش‌سوزی پس از سقوط) است، آن‌ها به ما در پیشگیری و فهم دلایل وقوع سوانح کمکی نمی‌کنند. سومین دلیل ممکن می‌تواند به علت راه اندازی سیستم کدگذاری تصادفات باشد.

این تحقیق، بر توسعه یک رویکرد جدید برای مدل‌سازی سوانح هوایی تمرکز می‌کند. هدف این تحقیق هدایت گروه‌های تجزیه و تحلیل سوانح به سوی یک مسیر روشن برای درک بالقوه دلایل سوانح است. تلاش برای کاهش تعداد سوانح، منجر به این سؤال می‌شود که: با توجه به اینکه پایگاه داده سازمان هوانوردی ایکائو حاوی اطلاعات زیادی است اما همیشه منطقی نیست و موارد زیادی را نادیده می‌گیرد؛ آیا می‌توان رویکردی را ایجاد کرد تا امکان بررسی منطقی را فراهم کند و به‌طور بالقوه موارد نادیده گرفته شده را مورد بررسی قرار دهد؟ در این مقاله به منظور درک بهتر دلایل سوانح هوایی از یک رویکردهستی‌شناسی مبتنی بر حالت با استفاده از روش‌های یادگیری ماشینی برای مدل‌سازی سوانح هوایی استفاده می‌شود و کاربرد این روش جدید با استفاده از داده‌های گذشته سوانح بالگرد نشان داده خواهد شد. هیچ روش مشابهی در حوزه ایمنی هوایی وجود ندارد که از هستی شناسی برای سوانح هوایی استفاده کرده باشد؛ بنابراین، پیشنهاد ساختن هستی‌شناسی سوانح با استفاده از داده‌های تاریخی، داده‌های ثبت پرواز، اطلاعات آزمایشی، محیط عملیاتی ارائه می‌شود تا بتوان با نگرشی جدید به درک بهتری از سوانح هوایی دست یافت و به کاهش عواقب ناشی از این سوانح کمک کرد چرا که گزارشات ثبت شده در پایگاه داده کمک شایانی به درک علل اصلی سوانح نمی‌کند.

پایگاه داده سوانح هوانوردی ایکائو حاوی مقدار زیادی داده است، اما همیشه منطقی تکمیل نشده است و برخی موارد نادیده گرفته شده است، لذا می‌توان رویکردی را ایجاد کرد که امکان بررسی منطقی را فراهم کند و به‌طور بالقوه موارد نادیده گرفته شده را مورد بررسی قرار داد. برای حل این شکاف، این تحقیق یک تجزیه و تحلیل از داده‌های گذشته را برای درک بهتر دلایل تصادفات هوایی، به‌ویژه سوانح بالگرد ارائه می‌دهد. سؤال اساسی تحقیق را می‌توان به دو سؤال تقسیم کرد:

سیستم کدگذاری موجود در حال حاضر باعث محدود کردن درک ما از دلایل وقوع سوانح می‌شود آیا می‌توان یک روش متفاوت ایجاد کرد که به درک بهتر ما از دلایل سوانح کمک کند؟

آیا می‌توانیم دلایل صحیح‌تری را ارائه داد و از این رو رتبه‌بندی دقیق‌تری از دلایل سوانح در پایگاه داده فراهم کرد؟

برای پاسخ به سؤالات فوق، در این تحقیق مدل‌سازی سوانح هوایی با استفاده از هستی‌شناسی سوانح و روش یادگیری ماشینی و رویکرد مبتنی بر حالت بررسی می‌گردد. سپس، از این مدل استفاده شده تا به‌طور بالقوه تصورات مربوط به سوانح بهتر درک گردد.

۲. مواد و روش تحقیق

۲-۱. داده‌های تحقیق

داده‌ها و آمار موجود در این مطالعه تحقیقاتی برگرفته از ثبت اسناد سوانح پروازی سازمان هواپیمایی کشوری ایران و پایگاه داده سازمان بین المللی ایکائو می‌باشد و کاملا بر اساس واقعیت نتیجه‌گیری شده است. مجموعه داده‌های موجود در این تحقیق شامل تمام سوانح بالگرد است که در بین سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۲۰ رخ داده است. مجموعه داده شامل ۶۲۰۰ سانحه بالگرد بوده که از این تعداد ۵۲۱۸ سانحه تحت سیستم قدیمی (۱۹۸۲–۲۰۰۸) ثبت شده و ۹۸۲ سانحه باقی‌مانده در سیستم فعلی (۲۰۰۸ تاکنون) موجود است. سوانح مرگبار مربوط به ۱۶،۲٪ (۱۰۰۵ از ۶۲۰۰) از داده‌های سانحه است [۷].

۲-۲. پیشینه تحقیق

در سال ۱۹۹۷، گروه تجزیه و تحلیل سانحه بالگرد۳ ۳۴ سانحه مرگبار را که بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۶ اتفاق افتاده انتخاب کردند. پس از انتخاب نمونه، آن‌ها به شناسایی «مشکلاتی» (به عنوان مثال، برنامه‌ریزی پیش پرواز، مسائل ایمنی و یا آموزش خلبان) پرداختند که به سوانح هوایی منجر شده است. آن‌ها دریافتند که تصمیم اشتباه خلبان ۸۰ درصد در بروز سانحه در نمونه انتخاب شده نقش داشته است. نقض روش پرواز توسط خلبانان (۴۱،۲٪) و نظارت مدیریتی نامناسب یا هدایت نادرست که منجر به ریسک پذیری توسط خلبانان می‌شد (۳۸،۲٪) ازجمله مشکلات دیگر یاد شده بود [۸]. همچنین مطالعات متعددی بر روی دلایل سوانح مرگبار در هواپیماهای جنگنده و بالگردها انجام شده است‌که در تمامی آن ها اشتباهات خلبانان نقش اساسی در بروز سوانح رخ داده بیان شده است [۹–۱۱]. یک مطالعه توسط هیئت ایمنی حمل و نقل استرالیا۴ در مورد ۲۱۵ سانحه مرگبار در استرالیا در بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفت که ۲۴،۲ درصد از آن شامل بالگردها بود، این سوانح عموماً ناشی از خرابی موتور، ورودی کنترل نادرست توسط خلبانان و پرواز در نزدیکی اشیاء (به عنوان مثال، خطوط برق) بود [۱۲]. فوگارتی و ساندرز [۱۳] از مدل شل (نرم‌افزار، سخت‌افزار، محیط زیست و زیست‌افزار) برای طبقه‌بندی ۲۵۰ سانحه هوانوردی نظامی در استرالیا بین سال‌های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۸ استفاده کردند. آن‌ها گزارش کردند که نظارت ناکافی توسط سرپرستان (۴۰،۴٪) و اشتباهات کارکنان تعمیر و نگهداری (۳۲،۰٪) رایج‌ترین عوامل سانحه است. رشید و همکاران [۱۴] ۵۸ سانحه بالگرد را تجزیه و تحلیل کردند که در سال‌های ۱۹۹۵–۲۰۰۵ رخ داده بود و به‌طور انحصاری مرتبط با نگهداری و همچنین منعکس‌کننده عوامل انسانی بود و شامل: خدمه تعمیر و نگهداری با آموزش مشابه و صلاحیت فنی بالگردهای مورد استفاده است. آن‌ها دریافتند هنگامی که به دلیل اقدامات تعمیر و نگهداری نادرست قطعات با مشکل مواجه می‌شوند، قطعات بیشتر به علت عدم توانایی فنی کافی در طول مونتاژ، نصب و راه اندازی و یا تنظیم ایجاد می‌گردد.

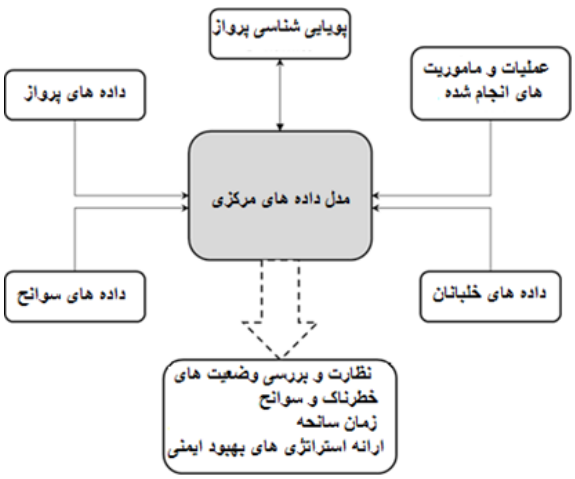
هالاند و همکاران [۱۵] ۵۹ سقوط بالگرد در هاوایی بین سال‌های ۱۹۸۱ و ۲۰۰۸ را بررسی کردند و دریافتند که حدود ۳۴ سانحه (~ ۵۸٪) به علت تعمیر و نگهداری ضعیف بوده‌اند. بیکر و همکاران (۲۰۱۱) [۱۶] ۱۷۸ سقوط بالگرد مربوط به عملیات نفت و گاز در خلیج مکزیک را در سال‌های ۱۹۸۳–۲۰۰۹ مورد بررسی قرار دادند. تجزیه و تحلیل آن‌ها نشان داد که ۱۰،۳٪ از سوانح ناشی از خرابی‌های مکانیکی به علت خطاهای نگهداری بوده است.

ماجومدار و همکاران [۱۷] عوامل علمی را برای ۲۳۷ مورد سانحه بالگرد در انگلستان در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ و ۵۴ مورد در نیوزیلند در سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که علی‌رغم بهبود قابلیت اطمینان از موتورهای تولید چرخشی، خرابی موتور هم‌چنان یکی از دلایل اصلی سوانح مربوط به تعمیر و نگهداری است. به طور خلاصه، می‌توان جمع‌بندی کرد که در تمامی مطالعات گذشته علت بیشتر سوانح هوایی از دست دادن کنترل پرواز، عدم کنترل هنگام فرود به زمین، آب و هوای نامناسب و خرابی موتور بیان شده است. محققان در این مطالعات بیشتر بر منابع خاص سوانح بالگرد مانند خرابی‌های مکانیکی، نوع مأموریت و شدت صدمات وارده متمرکز شده بودند. در بسیاری از این مطالعات تمایل بر این بود که "علت اصلی" یا "رویداد آغازین" را برای سوانح شناسایی کنند. ما در این تحقیق در تلاش برای درک بهتر دلایل سوانح هستیم، زنجیره‌های مختلف رخداد را بررسی و با استفاده از هستی‌شناسی سوانح و روش‌های یادگیری ماشینی و ترکیب آن با رویکرد مبتنی بر حالت آن‌ها را شناسایی کرده و رتبه‌بندی خواهیم کرد و میزان حضور آن ها در سوانح مرگبار و غیرمرگبار را بررسی می‌نماییم.

۲-۳. بهبود ایمنی حمل و نقل عمومی هوایی با هستی‌شناسی سوانح

فیلسوفان یونان "هستی‌شناسی" را به عنوان بحث قابل مطالعه پیرامون وجود یا موجود بودن تعریف می‌کنند و در دامنه هوش مصنوعی آن را به عنوان "مشخصات یک مفهوم" تعریف می‌کند [۱۸]. به‌طورکلی، هستی‌شناسی نه تنها به اشتراک گذاشتن داده‌ها بلکه برای استفاده از داده‌ها نیز معنایی ایجاد می‌کند. با استفاده از هستی‌شناسی طراحی هوایی، می‌توان یک مدل داده مرکزی ایجاد کرد که شامل تمام اطلاعات بررسی شده از ابزارهای مختلف باشد. برخی از تحقیقات به استفاده از هستی شناسی در حوزه ایمنی، به‌ویژه در دامنه ایمنی جاده اشاره کرده است. باراچینا و همکاران [۱۹] یک شبکه آنتولوژی تصادفات خودرویی را ایجاد کردند که مشخصات خودرو، اطلاعات اپراتور، محیط عملیاتی، داده‌های سانحه تاریخی و داده‌های سنسورهای جانبی را برای هشدار دادن وسایل نقلیه و کارمندان اورژانس ترکیب کردند.

شکل ۱ یک طرح اولیه برای مدل هستی‌شناسی ارائه می‌دهد. مدل داده مرکزی به مبادله داده بین منابع مختلف کمک می‌کند. تجزیه و تحلیل داده‌های پرواز به‌طور بالقوه می‌تواند رخدادهای بررسی داده‌ها را در طول عملیات پرواز نشان دهد. با استفاده از این ساختار هستی‌شناسی، می‌توان رویدادهای ثبت شده در سوانح، اطلاعات خدمه پرواز و محیط عملیاتی، مقایسه آن با داده‌های سانحه تاریخی و احتمال خطرات مرتبط با یک پرواز را ترکیب کرد. علاوه‌براین، هستی‌شناسی برای تجزیه و تحلیل پرواز با استفاده از یک مدل دینامیکی برای بازسازی پرواز و تخمین سطح خطر برای کل فاصله زمانی پرواز کاربرد دارد.



شکل ۱. چارچوب هستی‌شناسی سوانح حقیقی

۲-۴. مسائل مربوط به داده‌های سانحه

در هنگام تجزیه و تحلیل داده‌های سوانح باید به مسائل مربوط به داده‌های چندگانه توجه داشته و نتیجه‌گیری‌های مربوط به عواقب سوانح را به دست آورد. در این بخش برخی از مسائل کلیدی مرتبط با داده‌ها برجسته شده است. این مسائل شامل ورود ناقص یا ناسازگاری داده‌ها در پایگاه داده، کمبود اطلاعات در مورد سیستم کدنویسی کنونی، ذهنیت در تعیین احتمال و ناسازگاری در شرح وقوع می‌باشد. ورودی نامشخص زمینه‌های داده یکی از مسائل مهم در پایگاه داده است. فقدان اطلاعات در بسیاری موارد مانع تحلیل روند سوانح می‌شود. برای مثال در هواپیما "مدت دوره پروازها" کمک به برآورد مقدار زمان پرواز هواپیما در خدمت است. گزارش مداوم از ساعت هواپیما می‌تواند به‌طور بالقوه به سوانح ناشی از فرسودگی هواپیما و قطعات پرواز کمک کند. متأسفانه، در پایگاه داده میزان ساعت پرواز در هر سانحه گزارش نمی‌شود.

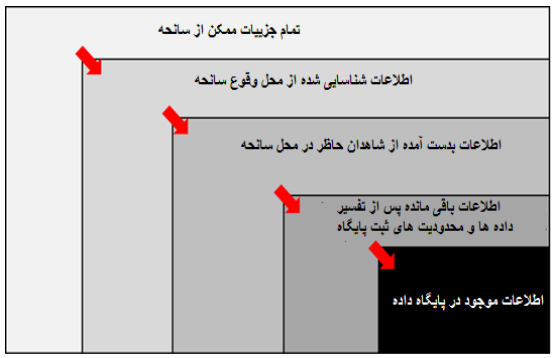
دلایل احتمالی این قضیه ناشی از غیرقابل دسترس بودن سوابق تعمیر و نگهداری و یا گزارش‌های مربوط به خلبانان است.

۲-۵. تغییرات در سیستم ثبت سانحه

پایگاه داده ایکائو سیستم ثبت سوانح خود را دو بار تغییر داد: اولین بار در سال ۱۹۸۲ و پس از آن در سال ۲۰۰۸ به سیستم فعلی تغییر داد. در حالی که انتقال به سیستم کدگذاری فعلی قابلیت تحلیلی را فراهم می‌آورد اما برخی چالش‌های دیگر را ایجاد می‌کند. چالش دیگر با سیستم فعلی شامل اطلاعاتی است که در حین انتقال از کدهای موضوع پنج‌رقمی به کدهای تغییریافته ده رقمی است. فقدان اصلاح اصولی بین کدهای موجود در سیستم قدیمی و جدید باعث ایجاد یک شکاف یا اختلاف در هنگام گزارش نتایج می‌شود. در طول بررسی از مطالعات متعدد سوانح گذشته، مشاهده می‌شود که بسیاری از مطالعات تجزیه و تحلیل خود را به سوانح پیش از سال ۲۰۰۸ میلادی محدود کرده‌اند یا تنها تصادفات پس از ۲۰۰۸ را در نظر گرفته‌اند. این مشکل به دلیل فقدان یک دستورالعمل کدنویسی برای سیستم جدید، محسوب می‌شود.

۲-۶. ذهنیت در ثبت جزئیات سانحه

در شکل ۲ سطوح اطلاعاتی که برای تحقیقات و تحلیل‌گران نشان داده شده است. اول، سانحه‌ای است که همه جزئیات لازم را دارد. ذهنیت در ثبت جزئیات سانحه در اینجا ارزشمند است و اینکه سطح اطلاعاتی مناسب برای تحقیقات را در اختیار پژوهشگران قرار دهیم. در مرحله اول، خود تصادف، تمام جزئیات لازم را دارد. با این واقعیت که آن رخ داده است. دوم، یک زیرمجموعه کوچک‌تر از اطلاعات برای محققان در دسترس است، زیرا نمی‌توان جزئیات هر تصادف را به طور کامل دانست. سوم اینکه ممکن است که محققان تمام اطلاعات موجود در مورد این تصادف را به دست نیاورند. به عنوان مثال، یک شاهد ممکن است چیزی در مورد تصادف بداند، اما این شاهد ممکن است یافت نشود و یا مورد سؤال قرار نگیرد. در عین حال شاهد، تفسیر خود را بر آنچه که تجربه کرده است، مطرح می‌کند و ماهیت واقعی تصادف را مختل می‌کند. چهارم، محققان ممکن است هر قطعه‌ای از اطلاعات را در روایت خود ثبت نکنند، در حالی که به‌طور همزمان تفسیر خود را بر یافته‌ها پیدا می‌کنند و سرانجام، محققان ممکن است تمام اطلاعات را در پایگاه داده کپی نکنند.



شکل ۲. سطح اطلاعات موجود برای محققان سانحه و تحلیل‌گران ایمنی

۲-۷. ناهمسانی در شرح گزارشات

به‌طورکلی، هر تصادف با یک گزارش مفصل واقعی و یک گزارش خلاصه یا کوتاه همراه است. گزارش‌های مختصر حاوی اطلاعات مربوط به وقایع، کدهای موضوعی و اصلاح‌کننده‌ها و عوامل مؤثر در سوانح است. همچنین آن‌ها شامل یک پاراگراف می‌شوند که نتایج احتمالی سانحه را در چندخط بیان می‌کند. در مقابل، گزارش‌های واقعی شامل تمامی جزئیات پرواز است که برای خواننده برخی پیش‌زمینه‌ها در مورد سانحه را شرح می‌دهد. گزارش‌های واقعی شامل اطلاعات مربوط به کارکنان (مثلاً سن، تجربه، گواهینامه پزشکی و امتیازات خلبانان)؛ نوع هواپیما یا بالگرد (به عنوان مثال، شماره سریال، مدل‌های موتور و ساعت پرواز)؛ اطلاعات هواشناسی (به عنوان مثال، باد)؛ فرودگاه یا محل فرود و اطلاعات خرابی می‌باشد. علاوه بر شرح سانحه، آن‌ها جزئیات مربوط به ماهیت عملیات (به عنوان مثال، استفاده شخصی، پرواز آموزشی)، سطح آسیب (به عنوان مثال، تخریب، آتش‌سوزی) و نام کارکنان تحقیق را ثبت می‌کنند. این گزارشات می‌تواند به‌طور بالقوه بینش ارزشمندی را در مورد سوانح فراهم آورد. با این وجود، تمام سوانح گزارشات کامل ندارند و نسبت به کارشناس سانحه که گزارشات را انجام می‌دهند، سطح جزئیات بسیار متفاوتی خواهند داشت. جدول ۱ در دسترس بودن گزارش‌های واقعی در پایگاه داده را نشان می‌دهد. فقط حدود نیمی از سوانح (۵۳،۳٪) قبل از سال ۲۰۰۸ شامل گزارشات واقعی با اطلاعات کامل بوده‌اند.

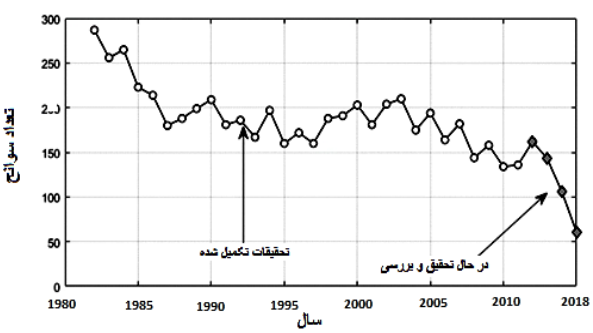
در مقایسه با سال‌های ۱۹۸۲–۲۰۰۸، تمام ۹۸۲ سانحه بالگرد پس از سال ۲۰۰۸ شامل گزارش‌های واقعی بودند. این گزارش‌ها نیز در سطح جزئیات بسیار متفاوت هستند. مقایسه میانگین گزارش واقعی سانحه قبل و بعد از سال ۲۰۰۸ (آزمون t در سطح معنی‌داری ۵٪) نشان دهنده تفاوت آماری معنی‌دار است. با این حال، بررسی بیشتر در مورد آمار گزارشات، نشان دهنده تفاوت بسیار کم میانگین دو دوره است؛ به عبارت دیگر میانگین گزارش‌ها در طی دو دوره زمانی تغییر نکرده است.

جدول ۱. خلاصه آمار گزارش‌های سوانح واقعی و مفصل - خلاصه

نوع گزارش	قبل از سال ۲۰۰۸ (میزان سوانح =۵۱۹۸)			بعد از سال ۲۰۰۸ (میزان سوانح = ۹۸۲)		
	تعداد	میانگین	انحراف معیار	تعداد	میانگین	انحراف معیار
واقعی و مفصل	۲۷۶۹	۷۳۰	۹۰۴	۹۸۲	۸۰۶	۱۰۷۱
خلاصه	۵۱۹۸	۱۲۸	۹۰	۹۶۴	۲۰۰	۱۵۷

۳. ویژگی‌های مجموعه داده‌های سوانح

مجموعه داده‌های موجود در این تحقیق شامل تمام سوانح بالگرد در بین سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۲۰ رخ داده است. مجموعه داده شامل ۶۲۰۰ سانحه بالگرد است که از این تعداد ۵۲۱۸ سانحه تحت سیستم قدیمی (۱۹۸۲–۲۰۰۸) ثبت شد، در حالی که ۹۸۲ سانحه باقی‌مانده در سیستم فعلی (۲۰۰۸ تاکنون) ثبت شده است. سوانح مرگبار مربوط به ۱۶٫۲٪ (۱۰۰۵ از ۶۲۰۰) از داده‌های سانحه است. شکل ۳ روند کاهش تعداد سوانح بالگرد در هر سال را نشان می‌دهد. کاهش تعداد سوانح بعد از سال ۲۰۱۳ عمدتاً به دلیل تعداد تحقیقات سانحه در حال انجام است. همان‌طور که انتظار می‌رود، تعداد سوانح تحت بررسی در سال‌های اخیر بیشتر است (جدول۲).



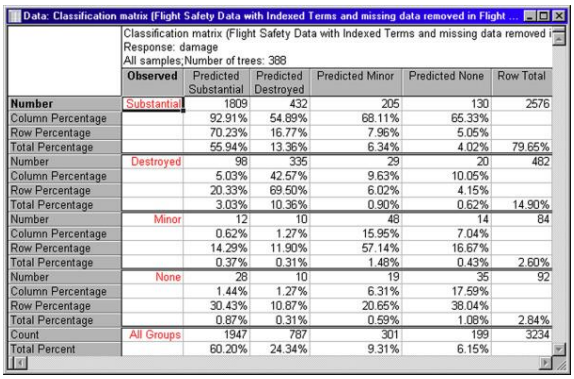
شکل ۳. روند سوانح بالگرد بین سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۸

جدول ۲. سال و تعداد سانحه در حال تحقیق

سال	سوانح در دست بررسی (درصد از مجموع سوانح آن سال)
۲۰۱۲	۱ (٪۰٫۶)
۲۰۱۳	۳ (٪۲)
۲۰۱۴	۳۶ (٪۲۵٫۳)
۲۰۱۵	۶۹ (٪۵۳٫۱)
۲۰۱۶	۷۳ (٪۵۷٫۶)
۲۰۱۷	۸۰ (٪۶۱٫۴)
۲۰۲۰	۸۶ (٪۶۷٫۱)

۳-۱. آمار زنجیره‌ای رخدادها

این بخش از آمار زنجیره‌ای از سوانح کلیدی را نشان می‌دهد. اول، به‌طور کلی زنجیره‌های وقوع پرتکرار در سوانح را شناسایی کرده؛ سپس، زنجیره‌های پرتکرار در تصادفات مرگبار را پیدا کرده و درصد وقوع آن‌ها با سوانح غیرمرگبار مقایسه می‌گردد. در نهایت، درصد وقوع کلیه زنجیره‌های پرتکرار در انواع مأموریت‌های مختلف مقایسه خواهد شد. در شکل ۴ نمونه ای از خوشه بندی انجام شده در این پژوهش توسط نرم افزار استاتیستیکا نشان داده شده است.


Data: Classification matrix (Flight Safety Data with Indexed Terms and missing data removed in Flight ...

Classification matrix (Flight Safety Data with Indexed Terms and missing data removed i
Response: damage
All samples;Number of trees: 388

	Observed	Predicted Substantial	Predicted Destroyed	Predicted Minor	Predicted None	Row Total
Number	Substantial	1809	432	205	130	2576
Column Percentage		92.91%	54.89%	68.11%	65.33%	
Row Percentage		70.23%	16.77%	7.96%	5.05%	
Total Percentage		55.94%	13.36%	6.34%	4.02%	79.65%
Number	Destroyed	98	335	29	20	482
Column Percentage		5.03%	42.57%	9.63%	10.05%	
Row Percentage		20.33%	69.50%	6.02%	4.15%	
Total Percentage		3.03%	10.36%	0.90%	0.62%	14.90%
Number	Minor	12	10	48	14	84
Column Percentage		0.62%	1.27%	15.95%	7.04%	
Row Percentage		14.29%	11.90%	57.14%	16.67%	
Total Percentage		0.37%	0.31%	1.48%	0.43%	2.60%
Number	None	28	10	19	35	92
Column Percentage		1.44%	1.27%	6.31%	17.59%	
Row Percentage		30.43%	10.87%	20.65%	38.04%	
Total Percentage		0.87%	0.31%	0.59%	1.08%	2.84%
Count	All Groups	1947	787	301	199	3234
Total Percent		60.20%	24.34%	9.31%	6.15%	

شکل ۴. کلاسه بندی داده های سوانح توسط استاتیستیکا

۳-۲. سیستم قدیمی (۱۹۸۲–۲۰۰۸)

شکل ۵ توزیع زنجیره‌های وقوع سانحه های بالگرد در سال‌های ۱۹۸۲–۲۰۰۸ را نشان می‌دهد. این سوانح با ۴۲۲ زنجیره مختلف رخداد مرتبط بودند، در حالی که بیش از نیمی از سوانح (٪۵۴٫۶ از سوانح) ۱۰ زنجیره پرتکرار را تشکیل می‌دادند.٪۵۴٫۶ از سوانح تنها یک رخداد داشتند، ٪۳۶٫۴ از سوانح دو رخداد داشتند و ٪۷٫۲ از سوانح شامل سه یا تعداد بیشتری از رخدادها بودند.

شکل ۵. توزیع زنجیره‌های وقوع در سال‌های ۱۹۸۲–۲۰۰۸

جدول ۳ درصد وقوع پنج زنجیره پرتکرار در تمامی سوانح در سال‌های ۱۹۸۲–۲۰۰۸ را مقایسه می‌کند. تعداد "۲۵۰ سانحه ناشی از دست دادن کنترل پرواز" بیشترین درصد زنجیره رخداد را تشکیل می‌دهد که ٪۱۳،۵ از سوانح بالگرد را شامل می‌شود. تعداد بالا زنجیره از دست دادن کنترل پرواز ممکن است منعکس‌کننده عدم جزئیات در بسیاری از تحقیقات باشد.

توجه داشته باشید زنجیره وقوع تعداد "۲۳۰S سانحنه ناشی از برخورد هواپیما با زمین/آب"، نشان دهنده تنها رویداد ثبت شده در تصادف است. ٪۵،۲ از سوانح ناشی از این زنجیره است، اما متأسفانه گزارش‌های پایگاه داده نشان نمی‌دهد که پیش از برخورد چه اتفاقی افتاده است.

جدول ۳. درصد وقوع زنجیره‌های پرتکرار در سوانح هوایی

زنجیره وقوع اولیه	زنجیره وقوع ثانویه	میزان درصد حضور در سوانح
از دست دادن کنترل هواپیما (۲۵۰)	-	٪۱۳،۵
از دست دادن قدرت موتور (۳۵۰)	فرود اجباری (۱۸۰)	٪۵،۷
از دست دادن قدرت موتور غیرمکانیکی (۳۵۳)	فرود اجباری (۱۸۰)	٪۵،۴
برخورد هواپیما با زمین / آب (۲۳۰S)	-	٪۵،۲
برخورد با اشیاء (۲۲۰)	-	٪۵،۱

۳-۳. رتبه‌بندی زنجیره‌ای آسیب‌های خاص

زنجیره‌های پرتکرار در سوانح مرگبار شناسایی شده و نتایج آن‌ها در زنجیره‌های غیرمرگبار مقایسه می‌گردد. سانحه مرگبار سانحه‌ای تعریف می‌شود که هرگونه آسیب به وجود آمده برای افراد در طی ۳۰ روز از سانحه منجر به مرگ شود [۲۰]. گروهی از تصادفاتی که سانحه‌ای جدی، جزئی یا جسمی نداشتند به عنوان "سوانح غیرمرگبار" نام‌گذاری شدند.

جدول ۴. تعداد زنجیره‌های پرتکرار در سوانح مرگبار و غیرمرگبار

زنجیره‌های وقوع		درصد سوانح	
مرگبار	غیرمرگبار	زنجیره‌های ثانویه	زنجیره‌های اولیه
٪۱۴	٪۱۳،۴	-	از دست دادن کنترل پرواز (۲۵۰)
٪۱۰	٪۴،۲	-	برخورد با اشیاء (۲۲۰)
٪۹	٪۴،۴	-	برخورد با زمین/ آب (۲۳۰S)
٪۶،۴	٪۱،۸	از دست دادن کنترل پرواز (۲۵۰)	شکست بدنه/ سیستم/ اجزاء (۱۳۰)
٪۶،۴	٪۱،۲	-	مواجه با آب‌وهوای نامساعد (۲۴۰)

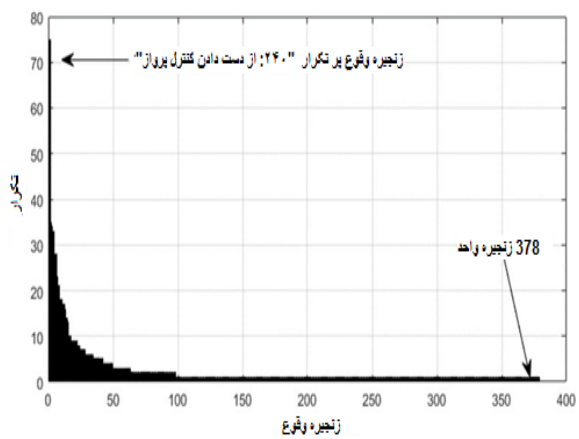
در جدول ۴ پنج زنجیره رخداد پرتکرار در سوانح مرگبار و غیرمرگبار مقایسه شدند. سه زنجیره از پنج زنجیره پرتکرار به‌طور کلی در میان پنج سانحه مرگبار قرار دارند. همچنین تعداد "۲۴۰ سانحه ناشی از مواجه با آب‌وهوای نامساعد" جزو پنج عامل زنجیره پرتکرار برای سوانح مرگبار است. متأسفانه، حضور پرتکرار در زنجیره تک گره از دست دادن کنترل پرواز، نشان می‌دهد که محققین اطلاعات محدودی در مورد وقایع قبل از این سوانح داشته‌اند. در برخی موارد، محققان توانستند اتفاقات قبل از دست دادن کنترل را پیش‌بینی کنند. یکی از مثال‌های آن زنجیره "۱۳۰–۲۵۰ سانحه ناشی از خرابی بدنه هواپیما/ سیستم، جزئی از دست دادن کنترل" است که در ٪۶،۴ از سوانح مرگبار ظاهر می‌شود. خرابی‌های سیستم، به‌ویژه کابل‌های کنترل پرواز و سطوح کنترل، برای خلبان به جهت کنترل پرواز بسیار حاد است.

اغلب مأموریت بالگردها نیاز به عملیات در نزدیکی اشیاء/زمین دارند. جای تعجب نیست، که تعداد "۲۲۰ سانحه ناشی از برخورد با اشیاء" و "۲۳۰S سانحه ناشی از برخورد هواپیما با زمین/آب" در میان زنجیره‌های وقوع پرتکرار برای سوانح مرگبار است. همانند زنجیره از دست دادن کنترل، این زنجیره نیز هیچ بینشی را در مورد سوانح پیش از آن ارائه نمی‌کند.

۳-۴. مقایسه زنجیره‌های پیش و پس از سال ۲۰۰۸

تعداد "۲۴۰ سانحه ناشی از دست دادن کنترل پرواز" شایع‌ترین عامل زنجیره‌ای بوده است که در ٪۷،۶ از سوانح بالگرد حضور دارد. توزیع فراوانی زنجیره‌های وقوع در سال‌های ۲۰۰۸–۲۰۲۰ (شکل ۶) مشابه سال‌های ۱۹۸۲–۲۰۰۸ است (شکل ۵ را ببینید). سوانح در سال‌های ۲۰۰۸–۲۰۲۰ با ۳۷۸ زنجیره مختلف رخداد

مرتبط بودند. ۵۱،۷٪ از سوانح تنها یک رخداد داشتند ۳۱،۷٪ از سوانح دو رخداد داشتند و ۱۶،۶٪ از سوانح با سه رخداد یا بیشتر اتفاق افتاده بود. در مقابل با سیستم قدیمی (که در آن ۱۰ زنجیر پرتکرار برای بیش از نیمی از تصادفات بود)، ۱۰ زنجیر پرتکرار در سیستم فعلی تنها ۳۱،۹٪ از تصادفات را به خود اختصاص داده‌اند. نسبت کاهش سوانح می‌تواند به دلایل مختلف نسبت داده شود: (۱) محققان از انواع بیشتری از کدهای وقوع در سیستم فعلی (۹۸ کد در مقایسه با ۵۴ کد در سیستم قدیمی) برای بهتر نشان دادن سوانح استفاده کرده‌اند؛ (۲) انواع بیشتری از حوادث و سوانح ایجاد شد و یا (۳) حجم نمونه کوچک‌تر (سوانح کمتر) است و از این رو برآورد به نسبت واقعی همگرا نیست [۲۱]. جدول ۵ اطلاعات کلیدی برای زنجیره‌های رخداد را که در سیستم‌های قدیمی و جاری ثبت شده مقایسه می‌کند. محققان اغلب سوانح را به از دست دادن کنترل پرواز در زنجیره وقوع در سوانح ثبت شده در سیستم‌های قدیمی و فعلی اختصاص داده‌اند. متأسفانه، استفاده مداوم از زنجیره از دست دادن کنترل پرواز به تحلیل‌گران ایمنی کمکی نمی‌کند تا درکی از علت سانحه را داشته باشند. درواقع، نسبت زنجیره‌های تک گره در سیستم فعلی (۲۳،۵٪ در مقایسه با ۱۲،۱٪ در سیستم قدیمی) افزایش یافته است. مقایسه مقادیر نشان می‌دهد که سطح اطمینان (۵٪ اطمینان) بالاتر از میانگین زنجیره‌ای سیستم فعلی است. مقدار D برای ضریب کوهن ۰،۲۴ است که نشان می‌دهد اندازه اختلاف تفاوت متوسط است.



شکل ۶. توزیع زنجیره‌های وقوع در سال‌های ۲۰۰۸–۲۰۱۸

سیستم فعلی همچنین بیش از ۴۰ رویداد جدید را معرفی کرد تا بهتر سوانح را نشان دهد. برای مثال یک رخداد جدید به عنوان پرواز کنترل شده به زمین معرفی شد. سیستم قدیمی به‌طور صریح پرواز کنترل شده به زمین را در سیستم کد نویسی ذکر نکرده است که تحلیل‌گر را برای شناسایی چنین سوانحی دچار مشکل می‌کند [۲۱]. ردیف آخر جدول ۵ نشان‌دهنده تعداد سوانح در هر ماتریس زنجیره رخداد است. در سال‌های ۲۰۰۸–۲۰۲۰ میلادی، هر زنجیره وقوع تنها ۲،۶ درصد سانحه را به خود اختصاص می‌دهد که تقریباً پنج برابر کمتر از سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۸ میلادی است. تعداد کمتر سوانح در هر زنجیره در سیستم فعلی نشان می‌دهد که محققان از انواع مختلف زنجیره‌های وقوع استفاده می‌کنند. به‌طور بالقوه می‌تواند بینش بهتری را به: (۱) انواع زنجیره‌ای رخ داده استفاده شده توسط محققان برای ثبت سوانح؛ و (۲) مسیرهای مختلف سانحه ارائه داد.

۳-۵. حالات خطرناک قبل از پرواز

اگر یکی از اجزای سیستم (خلبان یا بالگرد) در یک حالت خطرناک باشد، سیستم می‌تواند در یک حالت خطرناک قرار گیرد [۲۲]. شرایط نامناسب خلبان‌ها پیش از پرواز شامل حالت فیزیکی نامناسب، حالت روحی و روانی ضعیف و عدم تجربه می‌باشند. حالت خطرناک بالگرد به علت مسائل مکانیکی عموماً از تعمیر و نگهداری نادرست و طراحی ضعیف حاصل می‌شود. جدول ۶ تمام موارد احتمالی را نشان می‌دهد. اگر بیش از یکی از این کدها ظاهر شد، الگوریتم آن‌ها را در جهت مشخص شده قرار می‌دهد.

جدول ۵. مقایسه زنجیره‌های وقوع قبل و بعد از سال ۲۰۰۸

اطلاعات	سیستم قدیمی (۱۹۸۲–۲۰۰۸)	سیستم کنونی (۲۰۰۸–۲۰۱۸)
تعداد تصادفات	۵۲۱۸	۹۸۲
تعداد زنجیره‌ها	۵۴	۹۸
تعداد زنجیره‌های وقوع	۴۲۲	۳۷۸
زنجیره‌ای پرتکرار (درصدحضور)	۲۵۰: از دست دادن کنترل پرواز (۱۳،۵٪)	۲۴۰: از دست دادن کنترل پرواز (۶،۷٪)
طول متوسط زنجیره	۱،۵۵	۱،۷۳
تعداد زنجیره‌های تک گره	۵۱	۸۹
تعداد سانحه در هر زنجیره وقوع	۲۱،۳	۲،۶

۳-۶. حالت نهایی

حالتی است که در انتهای اتفاق یا سانحه رخ می‌دهد. فرود سخت، چرخش و برخورد با زمین/آب نمونه‌هایی برای حالت‌های پایان

است. جدول ۷، ۱۳ حالت ممکن را برای وقایع نهایی سانحه ارائه می‌دهد. سیستم می‌تواند مأموریت را در حالت پرواز اسمی یا یک حالت خطرناک شروع کند، از یک مجموعه از حالت‌های خطرناک در حین پرواز عبور کند و در یکی از سه حالت ممکن پایان یابد: (۱) تصادف؛ (۲) سانحه برای خلبان و اجزای سیستم ؛ یا (۳) فرود ایمن. از اصطلاحات منطقی برای ساخت یک برنامه کامپیوتری در استاتیستیکا استفاده شده که به‌طور خودکار حالت‌ها، نشانه‌ها و کدهای اطلاعات مربوط به سوانح را در پایگاه داده شناسایی می‌کند. پس از آن شروع به ایجاد «دستورالعمل» کرده که شامل قوانین برای موارد زیر است: (۱) توالی از حالت‌های مختلف در سوانح، (۲) پیوند دادن به حالت‌ها. شکل ۷ نمونه ای از این خوشه بندی خودکار را توسط نرم‌افزار نشان می دهد.

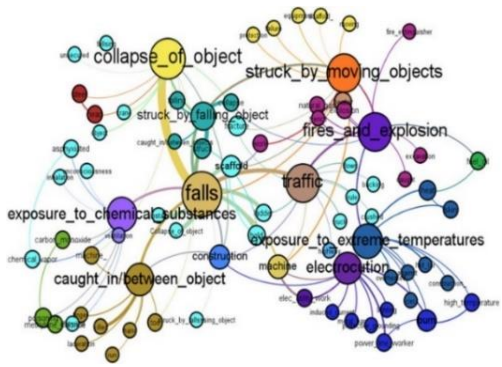
جدول ۶. حالت های خطرناک ممکن پیش از پرواز

حالت خطرناک قبل از پرواز	
حالت‌های خطرناکی که در ابتدای دنباله تصادف ظاهر می‌شوند.	
حالت‌هایی که در ابتدای یک دنباله تصادف می‌تواند ظاهر شود	نکات
مسئله مکانیکی قبل از شروع پرواز	اگر بیش از یکی از این کدها ظاهر شد، الگوریتم آن‌ها را در جهت مشخص شده در جدول قرار می‌دهد. ما نظارت نامناسب را به عنوان یک حالت خطرناک پیش از پرواز طبقه بندی کردیم زیرا این نشان دهنده نگرش خطرناک است. مقادیر کم سوخت، روغن و گریس، فقط درصورتی‌که توسط برنامه‌ریزی پیش از پرواز نادرست توسط خلبان، تعمیر و نگهداری نادرست توسط کارکنان انجام شود (پر نکردن / استفاده از مقدار نامناسب
حالت فیزیکی ضعیف	
حالت روانی ضعیف	
حالت نظارت نامناسب	
حالت صلاحیت ناکافی/آموزش	
اعتمادبه‌نفس کاذب/ فقدان اعتمادبه‌نفس	
خستگی / پرکاری	
حالت مضطرب / تحت فشار	

حالت خلبان قبل از شروع پرواز (اختلال / روانی / اعتمادبه‌نفس / خستگی)	مایع) باعث می‌شود. پایگاه داده از کدهای مربوط به اضطراب یا فشار برای نشان دادن حالت روانی خطرناک خلبان قبل از پرواز استفاده کرده است.
حالت عدم مراقبت بالگرد	
حالت سوخت کم	
حالت روغن کم	
حالت گریس کم	
آب و هوا غالب/ نور موجود	

جدول ۷. حالت‌های نهایی / پایان‌پذیر در سوانح

حالت‌های نهایی / پایان‌پذیر در سوانح	
حالت‌های خطرناکی که در انتهای یک دنباله تصادفی ظاهر می‌شوند.	
می‌تواند در پایان یک توالی حوادث ظاهر شود	نکات
برخورد هوایی	ما ۱۳ حالت پایانی ممکن را شناسایی کردیم. پایگاه داده کدهای برخورد با شیء و زمین در سیستم پس از سال ۲۰۰۸ میلادی را ترکیب کرد. در سیستم پیش از سال ۲۰۰۸ میلادی، پایگاه داده گاهی از وقوع فرود اجباری ۱۸۰ استفاده می‌کند تا: (۱) حالت پایانی؛ و در برخی موارد (۲) فرود اضطراری را نشان دهد.
فرود اجباری / اضطراری	
برخورد در هنگام فرود / صعود	
برخورد با زمین / آب / جسم	
فرود سخت	
برخورد بال / روتور	
برخورد روی زمین با زمین / شیء	
برخورد با پره‌های روتور	
بینی بیش از بالا / پایین	
پرواز کنترل شده به زمین / جسم	
سقوط روی آب	
برخورد با باند	
آتش‌سوزی / انفجار	



شکل۷. نمونه‌ای از خوشه‌بندی خودکار حالت‌ها، نشانه‌ها و کدهای اطلاعات مربوط به سوانح را در پایگاه داده توسط نرم افزار STATISTICA

۳-۷. ترتیب دادن (مرتب کردن) حالت‌های خطرناک

در این بخش، قوانینی برای تنظیم حالت‌های خطرناک مختلف در سوانح ارائه می‌گردد. شکل ۸ نمایشی ساده از کار برنامه کامپیوتری را نشان می‌دهد که حالت‌ها را دنبال می‌کند. نیمه بالایی از شکل ۸ حالت‌های نامرتب از گزارش تصادف را نشان می‌دهد. الگوریتم با شناسایی حالت‌های خطرناک قبل از پرواز و حالت پایان دادن / متوقف کردن شروع می‌شود و آن‌ها را در ابتدای و پایان دنباله سانحه قرار می‌دهد. سپس، الگوریتم طبق قوانین توالی، دستورات حالت‌های باقی‌مانده را اعمال می‌کند و مجموعه‌ای از دستورالعمل‌های نهایی حالت‌های خطرناک در تصادف را فراهم می‌کند. قبل از ارائه قوانین برای توالی حالت‌های مختلف خطرناک، شرایط خطرناک به موارد زیر تقسیم می‌گردند:

(۱) حالت‌های خطرناک قبل از پرواز

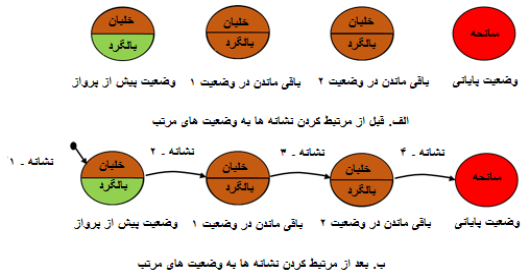
(۲) پایان دادن به حالت

(۳) حالت‌های باقی‌مانده

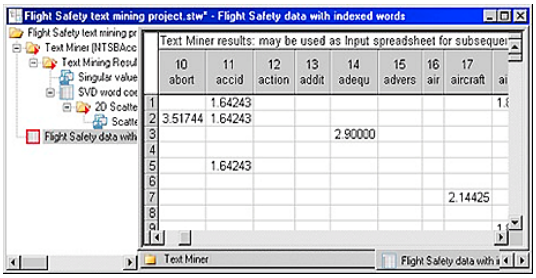
شکل ۸. کارکرد الگوریتم در یک دنباله سوانح تصادفی.
(الف) مجموعه‌ای از حالت‌های نامرتب در سانحه
(ب) نشان دهنده حالت‌های مرتب‌شده پس از اعمال قوانین توالی

پس از توالی حالت‌های خطرناک، قوانینی را تنظیم می‌کنیم که باعث می‌شوند که عوامل مختلف و حالت‌های خطرناک مرتبط باشند. شکل ۹ نمایشی ساده از کار برنامه کامپیوتری استاتیستیکا را نشان می‌دهد که باعث می‌شود تا هر یک از حالت‌های خطرناک (و خارج ازآن) را به هم مرتبط کند.

برنامه کامپیوتری مجموعه‌ای از شرایط خطرناک را برای هر تصادف در نظر می‌گیرد و از قوانینی که مشخص شده است برای اتصال حالت‌های خطرناک و نشانه‌ها استفاده می کند. شکل ۱۰ نمونه ای از این تفکیک حالت ها و مرتب کردن نشانگرهای مرتبط با هر حالت خطرناک را نشان می‌دهد.



شکل ۹. عملکرد الگوریتم در یک توالی تصادفی. (الف) حالت‌های خطرناک توالی شده و غیر مرتبط (ب) نشانگر هر حالت خطرناک



شکل ۱۰. حالت‌های خطرناک توالی شده و غیر مرتبط حالت‌های خطرناک در نرم افزار

۴. نتیجه گیری

با وجود سال‌ها تجزیه و تحلیل گذشته‌نگر سوانح بالگرد، سوانحی همچنان رخ می‌دهد و اغلب منجر به مرگ‌ومیر و آسیب رساندن به اموال می‌شود. پیگیری و تلاش برای درک بهتر دلایل این سوانح، سؤال اساسی زیر را مطرح کرد:

پایگاه داده حاوی مقدار زیادی داده است، اما همیشه منطقی و کامل نیست و می‌توان رویکردی را ایجاد کرد که امکان بررسی کردن منطقی را فراهم کند.

برای پاسخگویی به این سؤال، آن را به دو سؤال تحقیقاتی تقسیم کردیم:

سیستم کدگذاری سوانح در حال حاضر باعث محدود کردن درک محققین از دلایل تصادف می‌شود آیا می‌توان یک روش متفاوت ایجاد کرد که به درک بهتر از دلایل سوانح کمک کند؟

آیا می‌توانیم دلایل صحیح‌تری را ارائه داد و از این رو رتبه‌بندی دقیق‌تر از دلایل سوانح در پایگاه داده فراهم کرد؟

برای رسیدگی به اولین سؤال، در این تحقیق یک مدل تصادف مبتنی بر حالت را توسعه داده شد. برای ساختن این مدل، کدهای موجود در کتابچه راهنمای کدنویسی پایگاه داده ترجمه شد و یک دستورالعمل از حالت‌های خطرناک، نشانه‌ها و کدهای اطلاعات ایجاد گردید. پس از ایجاد واژگان حالت‌ها و نشانه‌ها،

یک دستورالعمل توسعه داده شد که: (۱) حالت‌های خطرناک در سوانح را مرتب می‌کند؛ و (۲) نشانه‌ها را به حالت‌های خطرناک مختلف مرتبط می‌گرداند. این مدل مبتنی بر حالت (همراه با دستورالعمل) تجزیه و تحلیل داده‌های سانحه را بدون نیاز به استفاده از کتابچه راهنمای کدنویسی پایگاه داده محدود می‌کند.

برای پاسخگویی به سؤال دوم، روش مدل سازی مبتنی بر حالت برای درک بهتر شناسایی و شمارش دلایل دو سانحه خطرناک پرتکرار در سوانح بالگرد، استفاده شد: (۱) از دست دادن کنترل پرواز؛ و (۲) چرخش خودکار نامناسب روتور برای فرود.

نتایج تجزیه و تحلیل مبتنی بر حالت عوامل "برخورد با شیء/ زمین" را که از یک تجزیه و تحلیل متعارف از پایگاه داده به دست نمی‌آید را برجسته می‌نماید رویکرد مبتنی بر حالت، درحالی که تفاوت‌های کلیدی در مقایسه با یک تجزیه و تحلیل متعارف را مطرح می‌کند، به مواردی که باید در پژوهش‌های آینده مورد توجه قرار گیرند، اشاره می‌کند. نمونه‌هایی از چنین مسائلی شامل استفاده مکرر از کدهای مربوط به تصمیم‌گیری یا اقدامات نادرست است.

در این تحقیق مدل برای ۶۲۰۰ سانحه بالگرد که در بین سال های ۱۹۸۲ تا ۲۰۲۰ رخ داده است، اعمال شد. اول حالت‌ها و عامل‌هایی که احتمالاً با سوانح مرگبار و غیرمرگبار مرتبط هستند شناسایی گردید. نتایج نشان می‌دهد که سوانح غیرمرگبار که تقریباً ۸۴ درصد از سوانح را تشکیل می‌دهند، فرصتی ارزشمند برای یادگیری در مورد دلایل سوانح فراهم می‌کند.

استفاده از مدل مبتنی بر حالت کمک می‌کند مجموعه وسیع‌تری از سوانح را که شامل چرخش خودکار نامناسب هنگام فرود هستند شناسایی گردد. نتایج تجزیه و تحلیل مبتنی بر حالت نشان داد که حفظ نکردن RPM روتور و فرود نادرست، از مهم‌ترین دلایل استفاده از چرخش خودکار نامناسب روتورهنگام فرود بود.

این اطلاعات با استفاده از تجزیه و تحلیل مرسوم به‌راحتی قابل تشخیص نیست زیرا (تجزیه و تحلیل متعارف) پارامترهای کلیدی (عناصر) پرواز را که بخشی از تعریف یک چرخش خودکار نامناسب در مدل مبتنی بر حالت است را در نظر نمی‌گیرد. در ۱۱،۶درصد از سوانح چرخش خودکار روتورهنگام فرود نامناسب، شرایط (به عنوان مثال، خرابی اجزا پرواز، قرار گرفتن در منحنی سرعت– ارتفاع) موجب می‌گردد که خلبان قادر به انجام صحیح چرخش خودکار روتورهنگام فرود نگردد.

مقایسه نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل متداول و رویکرد مبتنی بر حالت پایگاه داده، برخی از تفاوت‌های کلیدی این دو روش را نشان داد. نتایج حاصل از تحلیل متعارف، بینش کمی را پیرامون دستیابی دلایل برای از دست دادن کنترل پرواز ارائه می‌دهند. به عنوان مثال، بیان «عدم حفظ کنترل پرواز / هدایت مستقیم» به عنوان علت اصلی به درک بیشتر ما از تصادفات کمک نمی‌کند.

نتایج تجزیه و تحلیل مبتنی بر حالت نشان می‌دهد که گرایش خلبانان به عبور از کلیه اشیاء اغلب باعث ایجاد از دست دادن کنترل پرواز می‌شود. درصد بالای حضور این عامل با توجه به ماهیت عملیات بالگرد (اغلب در نزدیکی زمین / اشیاء) محتمل است. با این حال، این اطلاعات از تجزیه و تحلیل‌های متعارف پایگاه داده قابل برداشت نیست. علاوه بر این، وقوع مکرر از دست دادن کنترل پرواز پس از خرابی سیستم، اهمیت تعمیر و نگهداری بالگرد و چک کردن پیش پرواز را برجسته می‌کند.

بیان مکرر علت برنامه‌ریزی / تصمیم‌گیری نامناسب پرواز (در هر دو رویکرد) می‌تواند ناشی از فقدان اطلاعات موجود محققان در مورد دلیل واقعی از دست دادن کنترل پرواز باشد. ما استدلال می‌کنیم که استفاده از این علت مفید نبوده و برعکس، به‌طور بالقوه تمرکز تحلیلگران و اپراتورها را از عوامل خاص نظیر عدم کنترل و کنترل روتور دم می‌گیرد. در مقابل، تجزیه و تحلیل مبتنی بر حالت نشان می دهد که پرت شدن حواس خلبانان به اشیاء محیط اطراف اغلب باعث از دست دادن کنترل پرواز شده است (۱۶،۷ درصد سوانح) که این یافته به‌طور مستقیم از تجزیه و تحلیل‌های معمولی قابل تشخیص نیست.

۵. مآخذ

[1] M. Jahangir, International Aviation Law, Tehran – Publication, frozesh, 2002.

[2] UJHSA Team, The compendium report: The us jhsat baseline of helicopter accident analysis. Technical report, IHST, 2017.

[3] J. C. Manwaring, G. A. Conway, L. C. Garrett, Epidemiology and Prevention of Helicopter External Load Accidents, Journal of Safety Research, Vol. 29, No. 2, pp. 107- 121, 1998.

[4] A. DeVoogt, Fatalities in General Aviation: From Balloons to Helicopters, Forensic Pathology Reviews, Edited by E. E. Turk, Vol. 6, pp. 169-179, 2018.
[5] B. Atkinson, P. Irving, An analysis of accidents involving UK civil registered helicopters during the period 1976-1993, UK Civil Aviation Authority, 2018.
[6] AnalysisTeam, Accessed June 2016 http://www.ihst.org/portals/54/industry_reports/HAATFinalReport. pdf .
[7] Federal Aviation Administration Airworthiness Directives (ADs), Accessed July 2016. https:// www.faa.gov/aircraft/air_cert/continued_operation/ad.,/
[8] Aviation Safety and Security Program, "The Final Report of the Helicopter Accident Analysis Team", Accessed June 1998. http://www.ihst .org/portals/54/industry_reports/HAATFinalReport.pdf.
[9] C. Conroy, J. C. Russel, W. E. Crouse, T. R. Bender, J. A. Holl, Fatal Occupational Injury Related to Helicopters in the United States, Aviation, Space and Environmental Medicine, Vol. 63, No. 1, pp. 67–71, 1992.
[10] G. Li, H. T. Gebrekristos, S. P. Baker, FIA Score: A Simple Risk Index for Predicting Fatality in Aviation Crashes, The Journal of Trauma, Injury, Infection, and Critical Care, Vol. 65, No. 6, pp. 1278–1283, 2008.
[11] S. P. Baker, D. F. Shanahan, W. Haaland, J. E. Brady, G. Li, Helicopter crashes related to oil and gas operations in the Gulf of Mexico, Aviation, Space, and Environmental Medicine, Vol. 82, No. 9, pp. 885–889, 2011.
[12] Australian Transportation Safety Board, Accidents involving pilots in Instrument Meteorological Conditions, AR-2011-060, 2011.
[13] G. J. Fogarty, R. Saunders, Developing a model to predict aircraft maintenance performance, In Proceedings of 10th international symposium on aviation psychology Columbus, Ohio State University, pp. 1-6, 1999.
[14] H. S. J. Rashid, C. S. Place, G. R. Braithwaite, Helicopter maintenance error manalysis: Beyond the third order of the HFACS-ME. International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 40, pp. 636-647, 2010.
[15] W. L. Haaland, D. F. Shanahan, S. P. Baker, Crashes of Sightseeing Helicopter Tours in Hawaii, Aviation, Space, and Environmental Medicine, Vol. 80, No.7, pp. 637–642, 2009.
[16] S. P. Baker, D. F. Shanahan, W. Haaland, J. E. Brady, G. Li, Helicopter crashes related to oil and gas operations in the Gulf of Mexico, Aviation, Space, and Environmental Medicine, Vol. 82, No. 9, pp. 885–889, 2011.
[17] A. Majumdar, K. Mak, C. Lettington, A causal factor analysis of helicopter accidents in New Zealand 1996–2005 and the United Kingdom 1986–2005, The Aeronautical Journal, Vol. 113, No. 1148, pp. 647–660, 2009.
[18] T. R. Gruber, A translation approach to portable ontology specifications, Knowledge acquisition, Vol. 5, No. 2, pp. 199-220, 1993.
[19] J. Barrachina, P. Garrido, M. Fogue, F. J. Martinez, J. C. Cano, C. T. Calafate, P. Manzoni, VEACON: A Vehicular Accident Ontology designed to improve safety on the roads, Journal of Network and Computer Applications, Vol. 35, No. 6, pp. 1891-1900, 2012.
[20] National Transportation Safety Board, Aviation Accident Database & Synopses, Accessed July 2016, http://www.ntsb.gov/_layouts/ntsb.aviation/ index.aspx.
[21] Federal Aviation Administration, Helicopter Flying Handbook, Accessed November 2016, https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/helicopter_flying_handbook./
[22] M. Haji Jafari, A. Kosari, M. Fakoor, Improving the Completion Time of the Transport Helicopter Design Process Using the Work Conversion Matrix Method, Aerospace Knowledge and Technology Journal, Vol. 8, No. 1, pp. 109-123, 2019.