نشریه علمی- پژوهشی مهندسی هوانوردی
سال بیست و دوم، شماره دوم، پاییز ۹۹

مدلسازی سوانح هوایی ناشی از دست دادن کنترل پرواز بالگرد با استفاده از رویکرد مبتنی بر حالت

محسن دهقانی محمدآبادی*[۱]، حامد رحمانی[۲]، سید مجید میرحسینی [۳]

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

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

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

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۵)

چکیده

در این مقاله به مهمترین دلایل وقوع سوانح هوایی بالگرد پرداخته شده‌است. برای بررسی این سوانح از داده‌های سوانح هوایی که در ایران به وقوع پیوسته و همچنین داده‌های موجود در سازمان ایکائو استفاده گردید. تاکنون تلاش‌های تحقیقاتی بسیاری برای درک دلایل وقوع سوانح انجام شده‌است که بسیاری از آن‌ها از گزارشات و داده‌های سازمان هوانوردی بین‌المللی، ایکائو، استفاده می‌کنند. متأسفانه، درحالی‌که این مطالعات انواع مختلفی از عوامل سوانح رخ داده را معرفی می‌کنند (مانند، از دست دادن کنترل پرواز)، اما اکثر آن‌ها نمی‌توانند علت اصلی بروز این سوانح را شناسایی کنند. در کشور ما تلاش‌های مختلفی در این زمینه انجام شده اما مورد توجه اساسی قرار نگرفته‌است، که این مورد سبب شده‌است تا نتایج روشن و قابل استناد چندانی از دلایل اصلی سوانح در ایران در دسترس نباشد. همچنین سوانح هوایی در ایران به ویژه در دو دهه اخیر کاهش معنی داری را در تعداد سوانح و یا تلفات ناشی از آن‌ها نشان نمی‌دهد که این امر موجب بروز نگرانی‌هایی شده‌است. در این مقاله برای درک بهتر دلایل وقوع سوانح، یک رویکرد مبتنی بر حالت برای بررسی شکاف‌های منطقی موجود یا موارد نادیده گرفته شده ارائه می‌شود. به این منظور در نرم‌افزار استاتیستیکا یک برنامه نوشته شده که به‌طور خودکار حالت‌ها، نشانه‌ها و کدهای اطلاعات مربوط به سوانح را در پایگاه داده شناسایی کرده و سوابقی که به‌طور بالقوه پر از اشتباهات است را مورد بررسی قرار می‌دهد. تجزیه و تحلیل مبتنی بر حالت نشان می دهد پرت شدن حواس خلبانان به اشیاء محیط اطراف اغلب باعث از دست دادن کنترل پرواز شده است (۱۶.۷٪) که به‌طور مستقیم از تجزیه و تحلیل‌های معمولی قابل تشخیص نیست. در روش ارائه شده از مدلسازی مبتنی بر حالت استفاده شده که روشی نوین در این حوزه است همچنین ابزار یادگیری ماشین برای دستیابی به نتایج مطلوب‌تر بکار رفته‌است.

واژه‌های کلیدی: *رویکرد مبتنی بر حالت، مدلسازی سوانح هوایی، از دست دادن کنترل پرواز*

A State-Based Approach to Modeling Air Accidents Caused by Loss of Flight Control

Mohsen Dehghani mohammad-abadi*, Hamed Rahmani and Seyed Majid Mirhosseini

Abstract

In this research, the most important causes of helicopter accidents are discussed. For this aim, the data of aviation accidents that occurred in Iran and the data registered in ICAO are used.Several research efforts have been directed towards betters understanding the causes of accidents. Many of these efforts use ICAO accident reports and data. Unfortunately, while these studies easily identify the top types of accidents (e.g., inflight loss of control (LOC)), they usually cannot identify why these accidents are happening. Most ICAO narrative reports for accidents are very short (many are only one paragraph long), and do not contain much information on the causes (likely because the causes were not fully identified). Unfortunately, in our country, the efforts made in this field for various reasons have not been given much attention so far, which has led to the lack of clear and citationable results of the correct causes of aviation accidents. Aviation accidents in Iran, especially in the last two decades, do not show a significant reduction in the number of accidents or casualties. To better understand the causes of aviation accidents, this study offers a state-based approach to examining existing logical gaps or neglected cases and a computer program (in STATISTICA) that automatically builds states, signs, and information codes related to accidents These rules also help identify and count causes for accidents that were not discernable from previous analyses of historical accident data. State-based approach shows that distraction of pilots to objects in the environment often results in loss of flight control (16.7%), which is not directly distinguishable from conventional analysis. State -based modeling is a new method in this field. Also, machine learning tools are used to achieve more desirable results.

Key words: *State-Based Approach, Aviation Accidents Modeling, Loss of Flight Control*

*نویسنده پاسخگو: محسن دهقانی محمدآبادی، پست الکترونیک: m.dehghani@ssau.ac.ir

مقدمه

تجزیه و تحلیل داده‌های انجام شده در مورد سوانح هوایی توسط محققین و گروه‌های ایمنی به‌طور کلی به یک نتیجه مشترک می‌رسد. از دست دادن کنترل پرواز علت اصلی بیشتر سوانح هوایی است. هریس و همکاران در سال ۲۰۰۰ میلادی[۱] بیش از ۸۰۰۰ سانحه بالگرد که در طول سال‌های ۱۹۹۷-۱۹۶۳ رخ داده است مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که از دست دادن کنترل پرواز علت ۶۲۵ مورد از ۵۳۷۱ موارد (تقریباً ۱۲٪) سوانح مربوط به بالگرد غیرنظامی است. در سال ۲۰۱۰، گروه ایمنی و تجزیه و تحلیل مشترک بالگرد ایالات متحده (JHSAT)، ۵۲۳ سانحه بالگرد را برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۶ مورد بررسی قرار داد (علت انتخاب این سال‌ها اصلاً مشخص نشده است) در این تجزیه و تحلیل، آن‌ها دریافتند که از دست دادن کنترل پرواز، علت اصلی بیش از ۴۱٪ از تصادفات به وقوع پیوسته در مجموعه داده‌های آن‌ها است[۲].

در حالی که تمام مطالعات گذشته نشان می‌دهند که از دست دادن کنترل پرواز دلیل اصلی برای سوانح هوایی (هواپیما و بالگرد) است، آن‌ها هیچ اطلاعاتی در مورد «چرایی» علت سانحه ارائه نمی‌دهند. با وجود تلاش‌های سازندگان، گروه‌های ایمنی، کارشناسان نظارتی و کیفیتی بالگرد (و به‌طور کلی هواپیما)، تصادفات و سوانح همچنان ادامه دارد و اغلب منجر به صدمات شدید و آسیب‌های زیادی می‌شود.

یکی از دلایل این امر می‌تواند این باشد که ماهیت تحقیقات و گزارشات سوانح به‌طور بالقوه درک ما از عوامل تصادف را محدود می‌کند. دلیل دیگر، درک محدودی از دلایل احتمالی است که می‌تواند به دلیل تمایل به تجزیه و تحلیل مجموعه داده‌های اندک سانحه (به عنوان مثال، شدت آسیب خاص، مدل بالگرد و هواپیما) و نتیجه‌گیری از این داده‌های خاص باشد[۳].

به طور خلاصه، در این مقاله، مطالعات گذشته در مورد سوانح هوایی بررسی شده است که در تمامی آن‌ها تلاش برای بهبود ایمنی بالگرد انجام شده بود. بیشتر آن‌ها از دست دادن کنترل پرواز (LOC)، عدم کنترل هنگام فرود کنترل شده به زمین (CFIT)، آب‌وهوای نامناسب و خرابی موتور را ازجمله دلایل اصلی برای سوانح بالگرد بیان کرده بودند [۴-۷].

نگاهی آمارگونه به سوانح هوایی در ایران زمانی نگران کننده می شود که به این نکته توجه کنیم که حمل ونقل هوایی در ایران درصد بسیار اندکی از حجم حمل و نقل هوایی در دنیا را تشکیل می دهد. از این رو نسبت سوانح هوایی در ایران در مقایسه با میزان حمل ونقل هوایی کشورمان، عدد نگران کننده ای را به نشان می دهد؛ کشف علت سانحه هوایی یک مقوله علمی و فنی است که باید با استفاده از هنر متخصصان هوانوردی و بر اساس تجربیات، دستورالعمل ها و ابتکارات مورد بررسی قرار گیرد و از نتایج آن در راه پیشرفت و رفع نقایص طراحی، ساخت و تعمیر و نگهداری استفاده شود. بسیاری از استانداردها و آیین نامه های صلاحیت پروازی، نتیجه مستقیم یا غیرمستقیم بررسی همین سوانح است[۸].

به روز نبودن قانون هواپیمایی کشور و با توجه به ضرورت تدوین و تصویب قوانین به هنگام و مرتبط و رفع موانع قانونی حقوقی در راه تامین امنیت و سلامت پروازهای هواپیمایی و نیز اصلاح، ترمیم و تجهیز ناوگان هواپیمایی کشور به فناوری روز جهانی علت مزبور از زمره علل اساسی قابل طرح در این باره بوده که عموما بدان پرداخته نشده است[۹].

مدل‌های مبتنی بر حالت ریشه‌های خود را در دستگاه‌های وضعیتی محدود پیدا می‌کنند. نمودارهای انتقال وضعیت به‌طور گسترده در حوزه نرم افزار برای توسعه و درک رابط‌های نرم‌افزاری و سیستم‌های تعاملی مورد استفاده قرارگرفته اند. هارل (۱۹۸۷) رسم نمودار را برای کمک به طراحی سیستم‌های رویداد پیچیده گسسته معرفی کرد[۱۰].

رویکرد مبتنی بر حالت، نسبت به سایر رویکردهای مدلسازی سوانح از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار است زیرا سوانح را به طور متفاوتی از رویکرد مبتنی بر رویداد بررسی می‌کند و به جزییات بیشتری می‌پردازد و سانحه هوایی را به چندین دسته مانند علل سانحه، عوامل دخیل در آن، یافته‌ها، وقایع و رویدادهای پرواز طبقه‌بندی می‌کند. این روش، سوانح هوایی را به‌عنوان مجموعه‌ای از وضعیت‌های خطرناک یک سیستم مورد بررسی قرار می‌دهد و موجب می‌گردد که سیستم در تمامی وضعیت‌های خطرناک بررسی گردد[۱۱]. این رویکرد شمارش صحیح‌تری ازعلل سوانح در پایگاه داده فراهم می‌کند؛ و برای شکاف و یا موارد نادیده گرفته‌شده در داده‌های سوانح سازمان هوانوردی ایکائو و سازمان هوانوردی ایران مناسب است

و برخی از این شکاف‌ها را با استفاده از قوانین مبتنی بر منطق تکمیل می‌کند[۱۲].

این تحقیق در مورد استفاده از درک بهتر دلایل سوانح هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اینجا از یک رویکرد مبتنی بر حالت برای مدل سازی سوانح هوایی ناشی از دست دادن کنترل پروازاستفاده خواهیم کرد و کاربرد این رویکرد جدید را با استفاده از داده‌های گذشته سوانح بالگرد نشان خواهیم داد.

اهداف و سوالات تحقیق

پایگاه داده سوانح هوانوردی ایکائو حاوی مقدار زیادی داده است، اما هیچگاه به صورت منطقی تکمیل نشده و برخی موارد نادیده گرفته شده است و ما می‌توانیم رویکردی را ایجاد کنیم که امکان بررسی منطقی را فراهم کند و به‌طور بالقوه موارد نادیده گرفته شده را مورد بررسی قرار دهد.

برای حل این شکاف، این مقاله یک تجزیه و تحلیل از داده‌های گذشته را برای درک بهتر دلایل سوانح هوایی، به‌ویژه سوانح بالگرد ارائه می‌دهد.

سؤال اساسی تحقیق را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد:

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

۲. آیا می‌توانیم دلایل صحیح‌تری را ارائه دهیم و از این رو رتبه‌بندی دقیق‌تر از دلایل سوانح در پایگاه داده فراهم کنیم؟

برای پاسخ به سؤالات فوق، در این تحقیق مدل سازی سوانح هوایی را با استفاده از یک رویکرد مبتنی بر حالت به کار می‌گیریم سپس، از این مدل استفاده می‌کنیم تا به‌طور بالقوه بتوانیم تصورات مربوط به سوانح را بهتر درک کنیم.

داده های تحقیق:

داده ها 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 نتیجه گیری شده است و نسخه ای از آن در دفتر سوانح این سازمان بایگانی شده است. مجموعه داده‌های موجود در این تحقیق شامل تمام سوانح بالگرد در بین سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۲۰ 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. شکل۱ نمونه ای از داده های استفاده شده در این تحقیق می‌باشد.

Data: AccidentReports2001-2018.sta* (26v by 3235c)

	1 regis_no	2 event_id	3 Aircraft_Key	4 event_date	5 event_time	6 event_dow	7 event_month	8 event_year	9 light_cond	10 air_temp
1	N2184N	20010105X00043	1	1/1/2001	1245	Mo	January	2,001	DAYL - Day	-6
2	N737WQ	20010108X00064	1	1/1/2001	1740	Mo	January	2,001	NDRK - Night/Dark	-13
3	N94LW	20010113X00297	1	1/1/2001	1529	Mo	January	2,001	DAYL - Day	14
4	N45CF	20010110X00082	1	1/2/2001	1400	Tu	January	2,001	DAYL - Day	18
5	N19771	20010221X00479	1	1/3/2001	1740	We	January	2,001	DUSK - Dusk	-19
6	N933CA	20010405X00701	1	1/3/2001	832	We	January	2,001	DAYL - Day	-13
7	N26HV	20010110X00098	1	1/4/2001	1500	Th	January	2,001	DAYL - Day	2
8	N435JL	20010126X00361	1	1/4/2001	1547	Th	January	2,001	DAYL - Day	-2
9	N68472	20010108X00062	1	1/4/2001	1500	Th	January	2,001	DAYL - Day	-12
10	N727SP	20010111X00288	1	1/4/2001	1046	Th	January	2,001	DAYL - Day	0

شکل۱- نمونه ای از داده های مورد استفاده در تحقیق

استفاده از داده‌های سوانح برای ایجاد یک دستورالعمل از حالت‌های خطرناک، نشانه‌ها و کدهای اطلاعاتی برای مدلسازی حالت مورد نیاز می باشد. مدل تصادف مبتنی بر حالت نیاز به یک مجموعه کدهایی دارد که ممکن است در حالت‌ها و نشانه‌های سوانح ظاهر شود. حالت‌های مختلف و نشانه‌ها را می‌توان با استفاده از منابع بالقوه متعدد (به عنوان مثال، مدل‌های فیزیک پرواز بالگرد، نظرسنجی متخصصین) تعریف کرد.

دستورالعمل‌های کدنویسی پایگاه داده برای سیستم‌های قبل و بعد از سال ۲۰۰۸ میلادی است که شامل تقریباً ۳۳۸۴ کدهای موضوع مختلف، اصلاح‌کننده‌ها، وقایع و فاز کدهای پرواز است. در جمع آوری این تعاریف، یک عبارت منطقی ایجاد کردیم که نحوه تعریف هر کد یا مجموعه‌ای از کدهای را به حالت‌ها، کلیدها یا کدهای اطلاعات تبدیل می‌کند. این مجموعه از اصطلاحات منطقی، هر دو سیستم‌های قدیمی (قبل از سال ۲۰۰۸) و سیستم‌های فعلی (پس از ۲۰۰۸) را پوشش می‌دهد. ما از این اصطلاحات منطقی برای ساخت یک برنامه کامپیوتری در استاتیستیکا[1] استفاده می‌کنیم که به‌طور خودکار حالت‌ها، نشانه‌ها و کدهای اطلاعات مربوط به سوانح را در پایگاه داده شناسایی می‌کند. این نرم افزار با بهره‌گیری از

[1] STATISTICA

صدها تابع و الگوریتم‌های مختلف قادر است گزارشات آماری و محاسباتی را به راحتی انجام دهد. ارائه گزارشات آماری در قالب جدول و نمودارهای آماری از خصوصیات بارز این نرم‌افزار است.

پیشینه تحقیق:

نگاهی آمارگونه به سوانح هوایی در ایران زمانی نگران‌کننده می‌شود که به این نکته توجه کنیم که حمل ونقل هوایی در ایران درصد بسیار اندکی از حجم حمل و نقل هوایی در دنیا را تشکیل می دهد. از این رو نسبت سوانح هوایی در ایران در مقایسه با میزان حمل ونقل هوایی کشورمان، عدد نگران‌کننده‌ای را به دست می دهد؛ کشف علت سانحه هوایی یک مقوله علمی و فنی است که باید با استفاده از هنر متخصصان هوانوردی و بر اساس تجربیات، دستورالعمل‌ها و ابتکارات مورد بررسی قرار گیرد و از نتایج آن در راه پیشرفت و رفع نقایص طراحی، ساخت و تعمیر و نگهداری استفاده شود. بسیاری از استانداردها و آیین نامه‌های صلاحیت پروازی، نتیجه مستقیم یا غیرمستقیم بررسی همین سوانح است [۱۳].

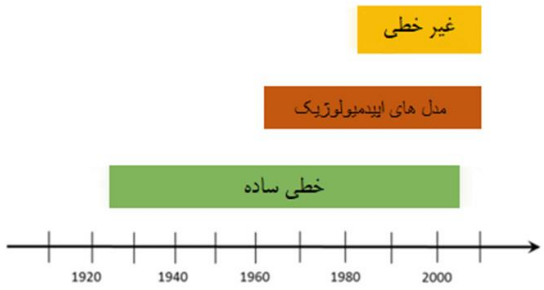
تحقیقات گسترده‌ای برای بهبود ایمنی بالگرد از طریق تجزیه و تحلیل سوانحی که درگذشته به وقوع پیوسته، انجام شده است. مطالعات متعددی، افزایش ریسک‌های پرواز را ناشی از منابع مختلف مانند رفتار خلبان، سیستم‌های مکانیکی، نوع مأموریت و زمان‌های عملیات در نظر گرفته‌اند [۱۴-۱۵]. برخی از آن‌ها توصیه‌هایی را برای 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 [۱۶]. برخی از محققین به بررسی نقش وقایع در سوانح هوایی پرداخته است. آن‌ها دریافتند که از دست دادن کنترل پرواز (۴۱٪ از سوانح)، عدم چرخش مناسب پره‌های بالگرد در حین عملیات فرود آزمایشی و اورژانسی (۲۸٪ از سوانح) و نقص در اجزاء سیستم (۲۸٪ از سوانح)، سه عامل مهم در سوانح بالگرد بوده‌اند [۱۷].

هریس و همکاران (۲۰۱۲) بیش از ۸۰۰۰ سانحه بالگرد را از سال ۱۹۶۳ تا ۱۹۹۷ بررسی کردند. آن‌ها سوانح را بر اساس ۲۱ دسته رویداد اولیه دسته‌بندی کرده و از دست دادن قدرت موتور، برخورد با جسم و از دست دادن کنترل را به عنوان سه دسته رویدادهای اصلی در رویدادهای اولیه اولویت‌بندی کرده‌اند [۱۸].

فوگارتی و ساندرز (۲۰۰۰) از مدل شل (نرم افزار، سخت‌افزار، محیط زیست و زیست افزار) برای طبقه بندی ۲۵۰ سانحه هوانوردی نظامی در استرالیا بین سال‌های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۸ استفاده کردند. آن‌ها گزارش کردند که نظارت ناکافی توسط مدیران (۴۰.۴٪) و روش‌های نادرست کارکنان تعمیر و نگهداری (۳۲.۰٪) رایج‌ترین عوامل خطاهای نگهداری و تعمیرات است [۱۹].

مدلسازی سوانح هوایی

مدل‌های سوانح هوایی، ما را در درک دلایل سوانح و تجزیه و تحلیل‌های پس از آن کمک می‌کند و اغلب به عنوان ابزاری برای درک و ارزیابی خطرات مربوط به یک سیستم استفاده می‌شوند. شکل **۲**، تکامل مدل سازی سوانح را نمایش می‌دهد.



شکل۲- تکامل مدل سازی سوانح [۱۴]

تلاش‌های اولیه برای درک دلایل سوانح، بیشتر این سوانح را به صورت دنباله‌ای خطی از دلایل در نظر می‌گرفتند. این روش خطی ساده نشان می‌دهد که با حذف هر یک از دلایل، سوانح را می‌توان پیشگیری کرد. با گذشت زمان، محققان متوجه شدند که سوانح بیشتر ترکیبی از اقدامات ناامن و مخاطرات پنهان بوده که منجر به مدل‌های اپیدمیولوژیک شد [۲۰]. اخیراً، محققان نیاز به مدل‌های تصادفی غیرخطی را به رسمیت شناختند. این مدل‌ها تلاش می‌کنند تا تعاملات بین اجزای مختلف و عاملان در یک سیستم را بررسی کنند.

مدل دومینو که توسط هاینریش و همکاران (۱۹۳۱) در دهه ۱۹۴۰ ارائه شد یکی از اولین مدل‌های سوانح پیشنهاد شده بود. این مدل سوانح را به عنوان دنباله‌ای از سوانح گسسته که در یک نظم خاص رخ می‌دهد، نشان می‌دهد.

مدل هاینریش تحت دسته بندی دیگر مدل‌های مبتنی بر رویداد پیوسته مانند تجزیه و تحلیل درخت شکست (FTA)،

تجزیه و تحلیل درخت رویداد (ETA) و حالت‌های خرابی و تجزیه و تحلیل اثر (FMEA) قرار می‌گیرد. در حالی که این مدل‌ها به ارائه مدل‌های سوانح ساده کمک می‌کنند، نمی‌توانند سوانح را در سیستم‌های پیچیده توضیح دهند [۲۱].

تلاش برای توضیح سوانح در سیستم‌های پیچیده راه را برای یک کلاس جدید از مدل‌های تصادفی به نام مدل‌های اپیدمیولوژیک ایجاد کرد. این طبقه از مدل‌ها، با ایده‌های قرض گرفته شده از زمینه پزشکی و پیشگیری بیماری است.

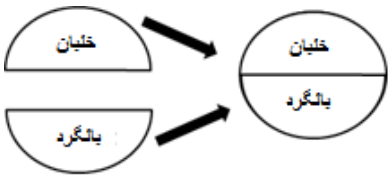
مدل‌های اپیدمیولوژیک تلاش می‌کنند به توضیح عواقب اتفاقی به عنوان ترکیبی از عوامل فعال و پنهان که در یک لحظه خاص با یکدیگر هماهنگ می شوند، بپردازند. یکی از مدل‌های قابل‌توجه این کلاس، «مدل پنیر سوئیسی» است که دلیل آن رابطه بین دلایل تقریبی و عوامل نهفته است. مدل ریزن، به‌طور گسترده در صنعت حمل و نقل هوایی برای توضیح سوانح استفاده می‌شود.

رویکردهای مدل سازی سوانح سنتی با نقص جزئی یا سخت‌افزاری همراه بودند [۲۲]. این رویکردها اغلب نتوانسته‌اند نقش عوامل انسانی یا اجتماعی در سوانح را در نظر بگیرند. سیستم‌های اجتماعی پیچیده، روابط غیرخطی و پویایی بین اجزا (فنی، انسانی و سازمانی) را نشان می‌دهند. این روابط توسط مدل‌های متوالی و اپیدمیولوژیک در نظر گرفته نمی‌شوند. کلاس جدیدی از مدل‌های مبتنی بر نظریه سیستم و یا مدل‌های سیستمیک برای مدل سازی سیستم‌های پیچیده اجتماعی توسعه داده شد. مدل‌های اجتماعی تطبیقی پی‌درپی پیشرفت می‌کنند زیرا آن‌ها تصادفات را با استفاده از شبکه‌های پیچیده وقایع و نه زنجیره‌های علت‌زا ساده توضیح می‌دهند. بسیاری از این مدل‌ها برای تحلیل سوانح هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدول **۱** به عنوان راهنمای مرجع در مورد ویژگی‌ها و ضعف مدل‌های مختلف تصادف عمل می‌کنند.

در تمامی مدل های ارائه شده، از داده های رخ داده پس از سانحه استفاده می شود اما در روش مبتنی بر حالت تجزیه و تحلیل داده های پرواز و رویدادهای ثبت شده در سوانح، اطلاعات خدمه پرواز و محیط عملیاتی، مقایسه آن با داده های سانحه تاریخی و احتمال خطرات مرتبط با یک پرواز ترکیب می گردد. علاوه بر این، این روش 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 که در هیچ یک از مدل های قبلی وجود نداشت.

تعاریف سیستم حالت در مدل سوانح

برای مدل سوانح هوایی با رویکرد مبتنی بر حالت، بالگرد و خلبانانی که بالگرد را هدایت می‌کنند یک سیستم را تشکیل می‌دهند. شکل زیر گرافیکی از دو جزء سیستم را به عنوان دو قسمت از یک دایره نشان می‌دهد که نیمی از آن‌ها نشانگر حالت خلبان و نیمه پایین نشان دهنده حالت بالگرد است (شکل ۳).



شکل ۳- ساخت سیستم از قسمت‌های تشکیل دهنده آن. نیمه بالای دایره نشان دهنده حالت خلبانان عامل بالگرد است، در حالی که نیمه پایین نشان دهنده حالت بالگرد است

یک حالت اسمی برای سیستم، به عنوان یک حالت عملیات تعریف شده که توسط انجمن ایمنی پذیرفته شده باشد و اگر هر دو از اجزای سیستم (خلبان و بالگرد) در حالت اسمی باشند؛ گفته می‌شود که سیستم در حالت اسمی قرار دارد همان‌طور که دایره سبز در شکل **۴** نشان داده می‌شود.

شکل ۴- تصویری از حالت اسمی برای سیستم

جدول ۱- بررسی ویژگی‌ها و نقایص مدل های سوانح هوایی ارائه شده

نوع مدل سانحه	ویژگی‌ها	نقص‌ها
مدل دومینو	سوانح را به عنوان دنباله‌ای از پنج عامل شامل محیط اجتماعی، خطا کارکنان، شرایط یا اقدامات ناامن و آسیب در نظر می‌گیرد	پیشنهاد می‌کند که سوانح ناشی از یک علت واحد باشد. عواقب سانحه را به خطا یا شکست انسان نسبت می‌دهد.
زنجیره‌ای از سوانح	سوانح را به عنوان دنباله‌ای از رویدادهای مرتب‌شده در زمان می‌داند. مشکلات انسانی و ماشینی را در نظر می‌گیرد. سوانح را می‌توان با چندین زنجیره متفاوت نشان داد.	مدلی خطی است که نشان می‌دهد که رویداد قبلی باید برای وقوع رویداد بعدی حتماً انجام شده باشد. فرض بر این است که شکستن زنجیره یا حذف کردن یک رویداد یا لینک می‌تواند از وقوع سانحه جلوگیری کند.
تجزیه و تحلیل درخت شکست	یک روش استنتاجی برای شناسایی اساسی‌ترین دلایل تصادف	فرض بر روابط خطی بین دلایل و تصادفات است. درخت خطاها می‌تواند برای یک سیستم گسترده، خیلی بزرگ و پیچیده شود.
مدل پنیر سوئیسی	یک مدل اپیدمیولوژیک است که نشان دهنده موانع بین خطر و سانحه با برش‌های پنیر سوئیسی است. سوراخ موجود در برش‌های پنیر سوئیسی نشان دهنده شرایط پنهان است. یک سانحه وقتی رخ می‌دهد که تمامی سوراخ‌ها در یک ردیف قرار گیرند.	هیچ توضیح واضحی از سوراخ در پنیر و یا زمان و اینکه چرا آن‌ها ظاهر می‌شود نمی‌دهد. قادر به شناسایی رابطه بین دلایل مختلف نیست. می‌تواند به سوء تفسیر منجر شود که تمام سوانح ناشی از اشتباهات مدیریتی است.
مدل راسموسن	چارچوب مبتنی بر سیستم که در آن مدیریت ریسک به عنوان کنترل‌کننده مشکل مشاهده می‌شود، جایی که آسیب و شکست ناشی از دست دادن کنترل فرآیند فیزیکی است. یک روش ثابت در یک محیط دینامیکی دشوار است. تصادفات زمانی اتفاق می‌افتد که کنترل در مرز ایمنی از دست می‌رود.	نوعی مدل کیفی است. این اساس ریاضی را برای تحلیل پیش‌بینی فراهم نمی‌کند. به اطلاعات دقیق در گزارش‌های تصادفات متکی است. تجزیه و تحلیل سانحه در مقیاس بزرگ بسیار دشوار است.
سیستم نظری مدل سازی و فرآیند تصادفات (STAMP)	یک روش سیستم نظری است که از المان‌های سبک راسموسن استفاده می‌کند. ایمنی سیستم به عنوان یک مشکل کنترلی است که در آن یک سانحه ناشی از اجرای ناموفق محدودیت‌های مربوط به ایمنی یک سیستم فنی ایجاد می‌شود.	وابسته به اطلاعات دقیق از گزارش‌های تصادف است. استفاده از مدل کیفی کاربرد تکنیک‌ها را برای تجزیه و تحلیل داده‌های تصادفی در مقیاس بزرگ سخت می‌کند.
روش اعتبار شناختی و تحلیل خطا (CREAM)	هولانگل مدل CREAM را برای مدل سازی کارایی انسانی توسعه داد و به‌طور بالقوه احتمال وقوع یک خطا را پیش‌بینی کرده است. این مدل بیشتر بر تأثیر عملکرد انسان در یک سیستم تمرکز می‌کند و جنبه‌های فنی را در نظر نمی‌گیرد. این مدل را می‌توان برای تجزیه و تحلیل کیفی و کمی استفاده کرد.	برای پیاده‌سازی می‌تواند پیچیده و وقت‌گیر باشد. اقدامات اصلاحی برای بهبود عملکرد انسان توصیه نمی‌شود. نیاز به دامنه دانش خاص، عوامل انسانی و شناخت انسان دارد.
مدل‌سازی تابع تشدید عملکردی (FRAM)	یک مدل تصادفی کیفی است که تلاش می‌کند تا تغییرات در عملکرد انسان را با استفاده از ایده تابع تشدیدی توصیف کند. کمک می‌کند تا یک درک بهتر از کار یک سیستم فنی پیچیده داشته باشیم.	رویکرد کیفی می‌تواند بسیار وقت‌گیر باشد. این مدل برای تحلیل‌های شکست احتمالی اجازه نمی‌دهد تا بر احتمال تغییرات عملکرد انسان تمرکز شود.

یک حالت خطرناک برای سیستم می‌تواند به عنوان حالت عملیاتی که نسبت به حالت اسمی ایمنی کمتری دارد تعریف شود. اگر سیستم در یکی از موارد زیر باشد گفته می‌شود که در حالت خطرناک قرار دارد:

الف. خلبان در یک حالت خطرناک است،

ب. بالگرد در یک حالت خطرناک است، و

ج. هر دو (خلبان و بالگرد) در یک حالت خطرناک قرار دارند.

شکل ۵- تصویری از سه سناریو ممکن است که گفته می‌شود یک سیستم در یک حالت خطرناک باشد

شکل ۵، (شکل بعد از توضیحات قرار گیرد) سه سناریو (الف،ب و ج) را نشان می‌دهد که در آن سیستم در حالت خطر تعریف می‌شود. سناریو (الف) زمانی اتفاق می‌افتد که خلبان در یک حالت خطرناک (به عنوان مثال، اختلال فیزیکی به علت تجویز دارو) سناریو (ب) زمانی اتفاق می‌افتد که بالگرد در یک حالت خطرناک باشد (به عنوان مثال، نگهداری و تعمیرات بالگرد ضعیف بوده یا حالت از دست دادن کنترل پرواز رخ داده است) و سناریو (ج) زمانی اتفاق می‌افتد که هر دو (الف) و (ب) رخ می‌دهد.

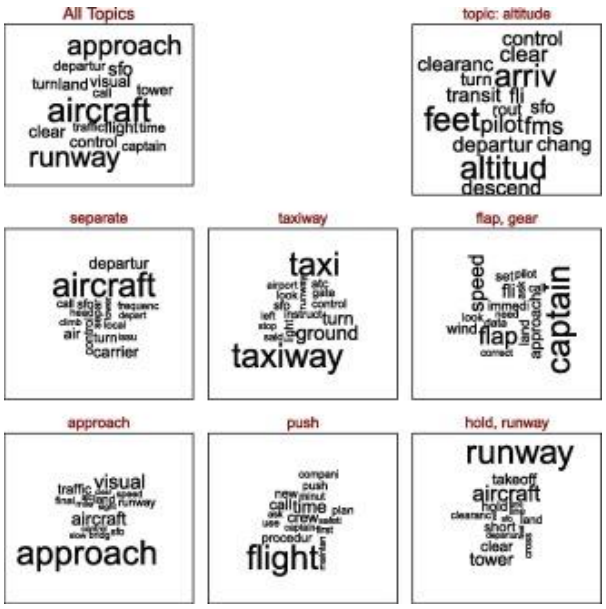
سیستم می‌تواند مأموریت را در حالت پرواز اسمی یا یک حالت خطرناک شروع کند، از یک مجموعه از حالت‌های خطرناک در حین پرواز عبور کند و در یکی از سه حالت ممکن پایان یابد: (۱) تصادف؛ (۲) سانحه؛ (فرق تصادف با سانحه چیست؟) یا (۳) فرود ایمن.

ما از اصطلاحات منطقی برای ساخت یک برنامه کامپیوتری در استاتیستیکا استفاده می‌کنیم که به‌طور خودکار حالت‌ها، نشانه‌ها و کدهای اطلاعات مربوط به سوانح را در پایگاه داده شناسایی می‌کند. ما شروع به ایجاد «دستورالعمل» کرده که شامل قوانین برای موارد زیر است:

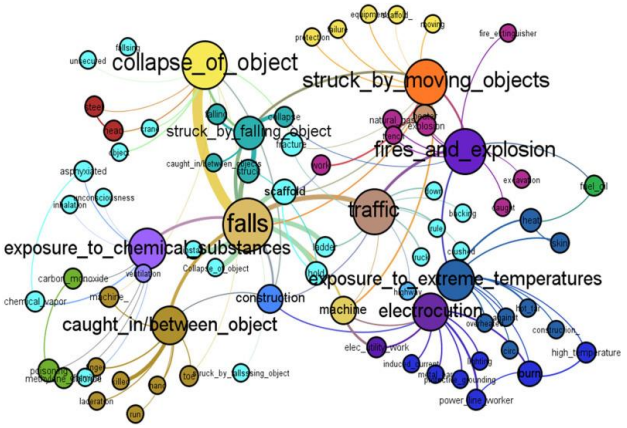
(۱) توالی از حالت‌های مختلف در سوانح

(۲) پیوند دادن به حالت‌ها است.

شکل ۶ و شکل ۷ نمونه ای از این خوشه بندی خودکار را توسط نرم افزار نشان می دهد.



شکل ۶- خوشه‌بندی وقایع و دستورالعمل های صورت گرفته توسط نرم افزار STATISTICA



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

ترتیب دادن (مرتب کردن) حالت‌های خطرناک

در این بخش، ما قوانینی را برای تنظیم حالت‌های خطرناک مختلف در سوانح ارائه می‌دهیم (بهتر است از افعال مجهول استفاده شود، در کل متن این مورد چک شود). شکل ۸

نمایشی ساده از کار برنامه کامپیوتری را نشان می‌دهد که حالت‌ها را دنبال می‌کند.

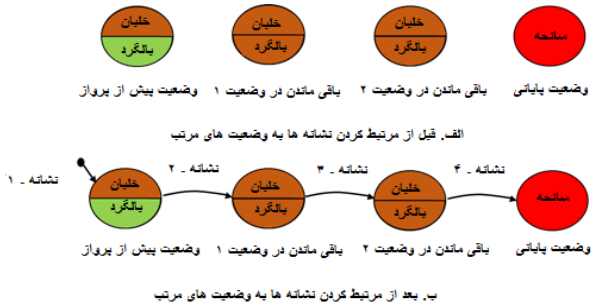
شکل ۸- نمایش کارکرد الگوریتم در یک دنباله سوانح تصادفی. نیمه بالای شکل (الف) مجموعه‌ای از حالت‌های نامرتب در سانحه را نشان می‌دهد و (ب) نشان دهنده حالت‌های مرتب‌شده پس از اعمال قوانین توالی است

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، ما شرایط خطرناک را به موارد زیر تقسیم می کنیم:

(۱) حالت‌های خطرناک قبل از پرواز
(۲) پایان دادن به حالت
(۳) حالت‌های باقی‌مانده

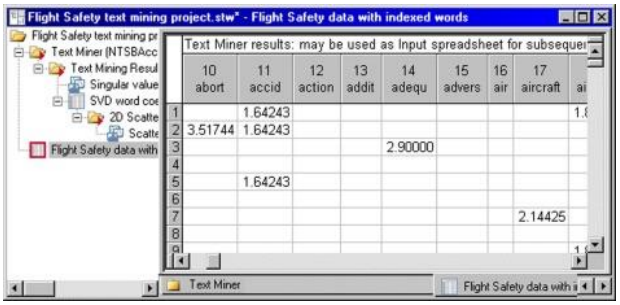
پیوند دادن حالت‌ها و نشانه‌ها

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.

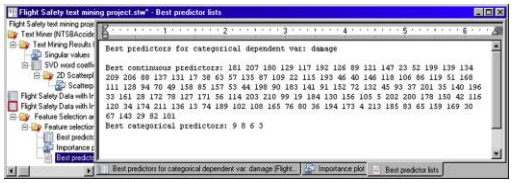


شکل ۹- نشان دادن کار الگوریتم در یک توالی تصادفی. نیمی از شکل (الف) حالت‌های خطرناک توالی شده و غیر مرتبط را نشان می‌دهد و (ب) نشانگرهای مربوط به هر حالت خطرناک است.

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 و شکل ۱۱ نمونه ای از این تفکیک حالت ها و مرتب کردن نشانگرهای مربط با هر حالت خطرناک را نشان می‌دهد.



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



شکل ۱۱- حالت‌های خطرناک توالی شده و مرتبط با نشانگرهای مربوط به هر حالت خطرناک در نرم افزار

بررسی سوانح ناشی از دست دادن کنترل پرواز

ما استدلال می‌کنیم که داده‌های مربوط به سوانح غیرمرگبار می‌تواند به ما در درک بهتر دلایل سوانح مرگبار کمک کنند. برای این استدلال، ما رویکرد مدل‌سازی سوانح مبتنی بر حالت را برای ۶۲۰۰ سانحه بالگرد که در سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۲۰ میلادی رخ داده است، اعمال می‌کنیم. ما اغلب حالت‌های (پیش از پرواز، در حال انجام و حالت پایان) را که

باعث وقوع تصادفات می‌شود تشخیص می‌دهیم (باز تکرار می شود که بهتر است از افعال مجهول استفاده شود، در کل متن این مورد چک شود) و حضور آن‌ها را در نتایج مرگبار و غیر مرگبار را با هم مقایسه می‌کنیم. ما نشان خواهیم داد که تصادفات مرگبار و غیرمرگبار دلایل زیادی را به اشتراک می‌گذارند، در نتیجه تحقیقات عمیق‌تر در مورد سوانح غیر مرگبار ممکن است به شناسایی راه‌هایی برای کاهش سوانح کمک کند.

حالت خطرناک از دست دادن کنترل پرواز حداقل یک‌بار در ۲۵۱۶ مورد از ۶۲۰۰ سانحه ظاهر می‌شود، بنابراین درصد حضور آن در سوانح بالگرد حدود ۴۰.۶٪ است. کل درصد حالت‌های خطرناک به‌طور کلی به ۱۰۰٪ نمی‌رسد زیرا یک سانحه ممکن است شامل چندین حالت خطرناک باشد. به عنوان مثال، سانحه ممکن است شامل از دست دادن کنترل و حالت‌های خطرناک RPM روتور باشد. بین سال‌های ۱۹۸۲ و ۲۰۲۰ میلادی، ۶۲۰۰ سانحه بالگرد وجود داشت، ۱۶.۲ درصد مرگبار و ۸۳.۸۸ درصد باقی‌مانده غیر مرگبار بودند.

تجزیه و تحلیل سوانح ناشی از دست دادن کنترل پرواز

تجزیه و تحلیل داده‌های سوانح توسط چندین محقق و گروه‌های ایمنی به‌طور کلی به یک نتیجه‌گیری مشترک می‌رسند: از دست دادن کنترل پرواز (LOC) علت اصلی بیشتر سوانح است[۲۳-۲۵].

تحلیل عادی وقایع ناشی از دست دادن کنترل پرواز

در پایگاه داده برای بررسی بیشتر سوانح ما یک تحلیل از پایگاه داده را انجام می‌دهیم. ما سوانح ناشی از دست دادن کنترل پرواز را با استفاده از کدهای وقوع پایگاه داده شناسایی می‌کنیم و عوامل علمی و عوامل مرتبط با از دست دادن کنترل پرواز را با استفاده از کدهای موضوع مشخص می‌کنیم.

ما با شناسایی سوانحی که شامل از دست دادن کنترل پرواز می‌شود شروع می‌کنیم. در سیستم پیش از سال ۲۰۰۸ میلادی، پایگاه داده رویداد "۲۵۰: از دست دادن کنترل پرواز" برای سوانح را مشخص می‌کند. ما ۱۴۰۳ (۲۶.۸٪) سانحه را که شامل از دست دادن کنترل پرواز بودند تشخیص دادیم که ۲۲.۵٪ آن‌ها منجر به مرگ‌ومیر شده بودند.

در هر سانحه، برخی از کدهای موضوع را به عنوان دلایل یا عوامل کمک‌کننده طبقه بندی می‌کنند و کدهای باقی‌مانده را به عنوان یافته‌ها (که نه علت و نه عوامل) ثبت می کنند.

جدول ۲- دلایل پرتکرار در سوانح ناشی از دست دادن کنترل پرواز (قبل از سال ۲۰۰۸)

درصد میزان سوانح	کدهای موضوعی که باعث ایجاد از دست دادن کنترل پرواز شد
٪۱۶.۶	**۲۴۵۶۶: کنترل پرواز**
۹.۳٪	**۲۴۵۵۸: RPM روتور**
٪۸.۶	**۲۴۵۳۹: کنترل جهت**
٪۷	**۲۴۰۱۰: برنامه ریزی / تصمیم گیری پرواز**
٪۶.۳	**۲۵۰۰۰: دلیل وقوع ناشناخته**

جدول**۲** پنج کد پرتکرار را در سوانح ناشی از دست دادن کنترل پرواز نشان می‌دهد. بدیهی است، کد ۲۴۵۶۶: کد موضوعی کنترل پرواز بیشترین درصد حضور را در مجموع سوانح یعنی حداقل در ۱۶.۶٪ از سوانح مرگبار ناشی از دست دادن کنترل پرواز ظاهر شده است. در ۸۶٪ موارد، این کد موضوع با عنوان «حفظ نکردن کنترل» اصلاح شد؛ به عبارت دیگر (یکی از) دلایل ثبت شده برای از دست دادن کنترل پرواز «حفظ نکردن کنترل است»!

کد ۲۴۵۳۹: کد موضوعی است که حداقل در یک نقش علیتی در ۸.۶ درصد از سوانح ناشی از دست دادن کنترل پرواز ظاهر شده است. سوانحی که به عدم توانایی خلبان برای حفظ قدرت هدایت جانبی آن برای هدایت در مسیر مستقیم بر روی بالگرد نسبت می‌دهد. خلبانان در این سوانح اغلب در موقعیت‌هایی مانند از دست دادن اثر روتور دم، انحراف و چرخیدن قرار می گیرند، یا در حالی هستند که جبران جریان قوی و یا از دست دادن کنترل جهت به علت خرابی سیستم روتور دمنده، رخ داده است. کد کنترل جهت، مانند کنترل پرواز، اغلب با «حفظ نشدن کنترل» اصلاح شده است. این کد (مانند کنترل ۲۴۵۶۶: کنترل پرواز) اطلاعات کمی درباره علت از دست دادن کنترل پرواز ارائه می‌دهد.

نگهداری دور موتور (RPM) روتور برای حفظ امنیت پرواز بالگرد بسیار مهم است. کتابچه راهنمای پرواز بالگرد بر این نکته تاکید می‌کند که «RPM یک مورد حیاتی است». در سوانح از دست دادن کنترل پرواز که در سال‌های ۱۹۸۲-۲۰۰۸ میلادی رخ داد، ۲۴۵۵۸: RPM روتور به عنوان دومین علت پرتکرار (۹.۳٪ از سوانح) ظاهر شده است. عدم حفظ RPM روتور می‌تواند منجر به خم شدن تیغه و از دست دادن

کنترل پرواز شود. اگر تمام تیغه‌ها از حرکت متوقف شوند، نتیجه معمولاً مرگبار است [۲۶-۲۷]. خلبان می‌تواند RPM روتور را با تغییر تنظیمات دریچه گاز، یا ورودی‌های کنترل و کلیدی مناسب، اصلاح کند.

۲۴۰۱۰: برنامه‌ریزی/تصمیم‌گیری ضعیف پرواز علت ۷.۰٪ از دست دادن کنترل پرواز است. به‌طور کلی، سیستم کدنویسی و گزارشات سانحه اطلاعات کمی درباره ماهیت دقیق تصمیمات ضعیف توسط خلبانان ارائه می‌دهد. در بسیاری از سوانح پایگاه داده اقدامات خاص را با توجه به تصمیم نادرست خلبان ثبت نمی‌کند.

برای سوانح از دست دادن کنترل پرواز در سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۲۰ میلادی ما از کد وقوع ۲۴۰ استفاده کردیم: که برای نشان دادن از دست دادن کنترل پرواز برای شناسایی سوانح ثبت شده در سیستم کدگذاری تصادف پس از سال ۲۰۰۸ است. ما ۲۲۶ سانحه از دست دادن کنترل پرواز را شناسایی کرده‌ایم که ۲۰٪ آن‌ها منجر به مرگ‌ومیر شده‌اند.

نتایج حاصل تجزیه و تحلیل مبتنی بر حالت سوانح از دست دادن کنترل پرواز

در این بخش، ما نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل مبتنی بر حالت سوانح از دست دادن کنترل پرواز را ارائه می‌دهیم. همانند تحلیل معمول، ما با شناسایی سوانح از دست دادن کنترل پرواز مجموعه‌ای از ۶۲۰۰ سانحه بالگرد را که در سال‌های ۱۹۸۲-۲۰۲۰ رخ داده، آغاز می کنیم. پس از استفاده از تعریف برای حالت از دست دادن کنترل پرواز، ما ۲۵۲۰ سانحه را شناسایی کرده‌ایم که در آن حالت از دست دادن کنترل پرواز را شامل می‌شود- افزایش ۸۹۱ سانحه نسبت به ۱۶۲۹ سانحه که با استفاده از تجزیه و تحلیل پایگاه داده‌های معمولی مشخص شده است. مجموعه‌ای بزرگ از سوانح با استفاده از رویکرد مبتنی بر حالت می‌توان به تعریف این حالت کمک کند که شامل ترکیبی از کدهای موضوعی، وقایع و کد فاز پرواز است (در مقایسه با وقایع تک گره که در تحلیل معمولی پایگاه داده انجام شده است). برای حالت از دست دادن کنترل پرواز در رویکرد مبتنی بر حالت، کدهای مختلفی را که پایگاه داده برای نشان دادن این حالت استفاده می‌کند، در نظر می‌گیرد.

جدول **۳** پنج عامل اصلی را برای حالت از دست دادن کنترل پرواز را نشان می‌دهد. درصد حضور برای هر عامل نسبت به تعداد دفعاتی که یک عامل حداقل یک‌بار در سانحه رخ داده، به تعداد کل سوانح (۲۵۲۰ سانحه)، محاسبه می‌شود.

مقایسه عوامل بالا در جدول **۳** با دلایل و عوامل پرتکرار برای از دست دادن کنترل پرواز نشان می‌دهد که تنها برنامه‌ریزی / تصمیم‌گیری نامناسب پرواز در هر دو تجزیه و تحلیل مبتنی بر حالت و متعارف رایج است. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، نشانه برنامه‌ریزی / تصمیم‌گیری نامناسب را می‌توان به چندین حالت خطرناک در سوانح مرتبط کرد.

در برخی سوانح، خلبان قادر به کنترل بالگرد در اثر خرابی سیستم‌های برقی نبوده و کنترل آن غیرممکن می‌گردد. عنوان «غیرممکن» در ۸.۹٪ از سوانح ناشی از دست دادن کنترل پرواز ظاهر می‌شود و اقدام اصلاحی نادرست در جایگاه چهارم است و حداقل در ۶.۹٪ از وقایع ظاهر می‌شود. این عامل نمی‌تواند بینش‌های مربوط به نوع اقدام اصلاحی که به درستی اجرا نشده است را ارائه دهد.

جدول ۳- دلایل پرتکرار از پایگاه داده برای حالت از دست دادن کنترل پرواز.

درصد میزان سوانح	مشخصه‌های پایگاه داده
٪۱۰.۳	**برنامه‌ریزی/تصمیم‌گیری نادرست پرواز**
۸.۹٪	**غیرممکن**
٪۶.۹	**اقدام اصلاحی نادرست**
۳.۵٪	**مانور نادرست**
٪۳.۲	**جبران نامناسب برای باد**

خلبانان برای حفظ جهت کنترل با استفاده از پدال ضد گشتاور که فشار تولید شده توسط روتور دم را تحت تأثیر قرار می‌دهد آموزش دیده‌اند. جبران نامناسب برای باد می‌تواند به از دست دادن کنترل منجر گردد. حضور بالا این عامل (که اطلاعات خاصی را در مورد فعالیت خلبان ارائه می‌دهد)، تمایل خلبانان بالگرد به تصمیم‌گیری اشتباه در مورد شدت باد برای استفاده از پدال ضد گشتاور را برجسته می‌کند.

همچنین ما درباره ۵۷.۸٪ باقی‌مانده (۱۴۵۷ مورد از ۲۵۲۰) سوانح از دست دادن کنترل پرواز که در گزارش‌های سانحه به آن اشاره نشده است بحث می‌کنیم. در این موارد که

در آن امکان شناسایی عوامل ضروری از گزارش تصادف وجود ندارد، ما نشانه‌هایی را بر اساس قوانین ارتباط حالت و دلایل استنباط می‌کنیم. جدول **۴** استنباط عامل‌هایی که برای حالت از دست دادن کنترل پرواز است را نشان می‌دهد.

۱۸۷۴ سانحه از ۲۵۲۰ (۷۴.۳٪) سانحه از دست دادن کنترل پرواز شامل برخورد با زمین / آب یا اجسام بوده است. با یک تحلیل متداول از پایگاه داده، تعیین این‌که آیا این سوانح موجب سانحه یا حالت‌های پایان خواهد شد، امکان‌پذیر نیست. با استفاده از حالت‌های ارتباط دستورالعمل و نشانه‌ها ، ما عامل «برخورد کردن» را در ۱۶.۷٪ از سوانح از دست دادن کنترل پرواز را ذکر کردیم. سوانحی که مربوط به این عامل رخ داده است مربوط به زمانی است که خلبانان موفق به حفظ فاصله از یک شیء/ زمین نشده و در نتیجه منجر به «برخورد» شیء/ زمین می‌شود.

جدول ۴-عوامل پیشنهادی برای حالت از دست دادن کنترل پرواز

درصد میزان سوانح	راهکارهایی که نتیجه می‌گیرند
٪۱۶.۷	**برخورد با شی / زمین**
٪۷.۷	**کنترل محدود پس از خرابی سیستم**
٪۳.۱	**استفاده نادرست از دریچه گاز و یا سیستم کنترل**
٪۳.۱	**استفاده نامناسب از سیستم کنترل و چرخ‌ها**
٪۲.۸	**استفاده نامناسب از کنترل ضد گشتاور**

جدول ۵- عوامل پرتکرار که برای حالت از دست دادن کنترل پرواز تعریف شده است

حالت	تجزیه و تحلیل متعارف	تجزیه و تحلیل مبتنی بر حالت	ملاحظات
تعداد تصادفات شناسایی‌شده	۱۶۲۹	۲۵۲۰	مجموعه‌ای بزرگ از سوانح که با استفاده از رویکرد مبتنی بر حالت می‌توان به تعریف این حالت اشاره کرد که شامل ترکیبی از کدهای موضوعی، وقایع و کد فاز پرواز است (در مقایسه با وقایع تک مرحله که در تحلیل معمولی پایگاه داده بکار برده می‌شود).
علت پرتکرار	کنترل پرواز (۱۶.۶٪) (پیش از سال ۲۰۰۸)	-	به عنوان مهم‌ترین دلایل سانحه کدهای موضوع برای کنترل پرواز از دست دادن کنترل پرواز ثبت شده در سیستم‌های کدگذاری قبل و بعد از سال ۲۰۰۸ میلادی ظاهر شدند. حضور این کد موضوع، هیچ دلیلی برای درک اینکه چرا از دست دادن کنترل پرواز رخ داد وجود ندارد.
	کنترل پرواز (۴۹.۱٪) (پس از ۲۰۰۸)		
عامل‌های پرتکرار	شرایط آب‌وهوایی (۳۳.۱٪) (پیش از سال ۲۰۰۸)	-	کد شرایط آب‌وهوایی به عنوان عامل مهم در سوانح ناشی از دست دادن کنترل پرواز در سال‌های ۱۹۸۲-۲۰۰۸ ظاهر شد. این نشان می‌دهد که آب و هوا نقش مهمی در این سوانح داشته است.
	اقدام با تأخیر(۳.۱٪) (پس از سال ۲۰۰۸)		استفاده از سیستم جدید کدنویسی توسط پایگاه داده نشان می‌دهد که تأخیر در عملکرد توسط خلبان عامل مؤثری است. در حالی که این کد برخی از اطلاعات در مورد ماهیت عمل فراهم می‌کند، اما جزئیات آن را فراهم نمی‌کند.
نشانه‌های پرتکرار از پایگاه داده	-	برنامه‌ریزی/ تصمیم‌گیری پرواز (۱۰.۳٪)	این نشانه اطلاعات و بینش کمی فراهم می‌کند و به اشتباه / تصمیمات گرفته شده توسط خلبانان می‌پردازد.
نشانه تشخیص پرتکرار	-	برخورد با شیء / زمین (۱۶/۷ درصد)	سوانح مربوط به از دست دادن کنترل پرواز مربوط به زمانی است که خلبانان موفق به حفظ فاصله از یک شی / زمین، نمی‌شود و در نتیجه منجر به برخورد با آن‌ها می‌گردد

محدودیت یا عدم کنترل پس از خرابی سیستم، با حضور ٪۷.۷ در سوانح مهم‌ترین عامل سوانح است. ما این عامل را در هنگام وقوع سانحه در حالت خرابی سیستم قرار دادیم.

استفاده نادرست از گشتاور و یا چرخش روتور دومین عامل پرتکرار است که در ٪۳.۱ از سوانح رخ داده است. ما این عامل را فقط وقتی‌که تصادف منجر به عوامل روبه‌رو می‌شود حساب می‌کنیم: (۱) از دست دادن کنترل ناشی از قدرت موتور نباشد؛ و (۲) حالت RPM کم قبل از دست دادن کنترل باشد.

استفاده نادرست از مجموعه نیرو چرخش و گام ملخ باعث ایجاد حالت از دست دادن کنترل در ٪۳.۱ از سوانح شده است، ما این عامل را در زمانی که یک چرخش خودکار روتور نامناسب (بدون حفظ RPM پس از دست دادن قدرت موتور) قبل از دست دادن کنترل پرواز در دنباله سانحه نشان دادیم.

استفاده نادرست از عامل کنترل ضد گشتاور در ٪۲.۸ از سوانح از دست دادن کنترل پرواز ظاهر می‌شود. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، عدم استفاده از نیروی باد با استفاده از پدال ضد گشتاور می‌تواند منجر به از دست دادن کنترل جهت شود. وقتی بالگرد قبل از دست دادن کنترل باید از کار افتادن روتور دم (LTE) جلوگیری کند. عدم موفقیت خلبان در کنترل روتور ضد گشتاور / دم می‌تواند منجر به از دست دادن کنترل جهت شود.

خلاصه

ما یک تحلیل معمولی از پایگاه داده انجام دادیم و دلایل پرتکرار و عوامل مرتبط با از دست دادن کنترل پرواز را شناسایی نمودیم؛ و سپس، رویکرد مبتنی بر حالت را برای شناسایی عامل‌های پرتکرار حالت از دست دادن کنترل پرواز اعمال کردیم. جدول **۵** نتایج هر دو تجزیه و تحلیل را مقایسه و خلاصه می‌کند.

نتیجه‌گیری

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.

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 ما می‌توانیم رویکردی را ایجاد کنیم که امکان بررسی کردن منطقی را فراهم می‌کند.

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

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

۲. آیا می‌توانیم علل صحیح‌تری را ارائه دهیم و از این رو رتبه‌بندی دقیق‌تر از علل سوانح در پایگاه داده فراهم کنیم؟

برای رسیدگی به اولین سؤال، ما یک مدل تصادف مبتنی بر وضعیت را توسعه دادیم. برای ساختن این مدل، کدهای را در کتابچه راهنمای کدنویسی پایگاه داده تعریف کردیم و یک دستورالعمل از حالت‌های خطرناک، نشانه‌ها و کدهای اطلاعات ایجاد نمودیم. پس از ایجاد واژگان حالت‌ها و نشانه‌ها، ما دستور العمل را توسعه دادیم که: (۱) حالت‌های خطرناک در سوانح را مرتب می‌کند؛ و (۲) نشانه‌ها را به حالت‌های خطرناک مختلف مرتبط می‌گرداند. این مدل مبتنی بر وضعیت (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 وضعیت را برای درک بهتر شناسایی و شمارش علل دو سانحه خطرناک پرتکرار در سوانح بالگرد، استفاده می‌کنیم: (۱) از دست دادن کنترل پرواز؛ و (۲) چرخش خودکار نامناسب روتور برای فرود.

نتایج تجزیه و تحلیل مبتنی بر وضعیت 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 وضعیت، در حالی 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.

منابع و مراجع

[1]. Harris, F. D. (2012). Introduction to Autogyros, Helicopters, and Other V/STOL Aircraft Volume II: Helicopters. NASA/SP–2012-215959 Vol II, Moffett Field, CA, October 2012.

[2]. United States Joint Helicopter Safety and Analysis Team, (2017). The Compendium Report: The US JHSAT Baseline of Helicopter Analysis. Fairfax, VA: International Helicopter Safety Team.

[3]. Manwaring, J. C., Conway, G. A., and Garrett, L. C. (1998). Epidemiology and Prevention of Helicopter External Load Accidents. Journal of Safety Research, Vol. 29(2), pp. 107- 121.

[4]. DeVoogt, A. (2018). Fatalities in General Aviation: From Balloons to Helicopters. Forensic Pathology Reviews. Edited by E. E. Turk, Vol. 6, New York, NY, Springer Science and Business Media, pp. 169–179 .

[5]. Atkinson, B., and Irving, P. (2018). An analysis of accidents involving UK civil registered helicopters during the period 1976-1993. CAA/913 V/14. 95, 2018.

[۶]. منصور،جهانگیر،(۱۳۸۱) حقوق بین الملل هوایی، تهران- نشرفروزش

[7]. Cohen, B., Cassell, R., and Smith, A. (1999). Development of an Aircraft Performance Risk Assessment Model. Digital Avionics Systems Conference. IEEE

[۸]. جنانی، سید محمد .(۱۳۸۷)چگونگی کاهش خطای پروازی خلبانان هواپیماهای ترابری نهاجا ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دافوس آجا.

[۹]. عوامل موثر در سوانح هوایی (دستورالعمل جامع بررسی سوانح هوایی و غیر هوایی) مولف داودنجفی پور شرکت پشتیبانی و نوسازی هلیکوپتر ایران، چاپ اول زمستان ۱۳۹۵.

[10].Harel, D. (1987). Statecharts: A Visual Formalism for Complex Systems. Science of Computer Programming, Vol. 8, pp. 231–274.

[11].Smith, A., Rick Cassell, Y. E., Sleep, B., and Cohen, B. (2000). Feasibility Demonstration of an Aircraft Performance Risk Assessment Model. Philadelphia, PA: IEEE .

[12].Fogarty, G.J., Saunders, R. (2000). Developing a model to predict aircraft maintenance performance. Proceedings of 10th international symposium on aviation psychology, Columbus, OH, 2000 .

[13].Leveson, N. G. (2016). Rasmussen's legacy: A paradigm change in engineering for safety. Applied Ergonomics, in press, http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2016.01.015

[14].Rasmussen, J. (1997). Risk management in a 2 dynamic society: A modelling problem. Safety Science, Vol. 27(2/3), pp. 183–213.

[15].Reason, J. (1997). Managing the Risk of Organizational Accidents. Surrey, UK: Ashgate Publishing; 1997

[۱۶].موسی زاده،رضا(۱۳۷۸) حقوق بین الملل عمومی ۱و ۲،چاپ دوم،دفتر مطالعات سیاسی و بین المللی وزارت امور خارجه،

[۱۷].نایبی، علیرضا، مطالعه روش فعلی بررسی سوانح هوایی نظامی و ارایه روشی نو با استفاده از آخرین دستاوردهای موجود. پایاننامه کارشناسی ارشد، مرکز تحصیلات تکمیلی، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، تهران، ایران، اسفند ماه ۱۳۹۲

[۱۸].آئین نامه بررسی سوانح و حوادث هوایی آیین نامه ۱۱۳ سازمان هواپیمایی کشوری ایران، ۱۳۹۰.

[19].Rao, A. H., & Marais, K. (2020). A state-based approach to modeling general aviation accidents. Reliability Engineering & System Safety, 193, 106670.

[20].Rao, A. H. (2016). A new approach to modeling aviation accidents.

[21].Majumdar, N. (2019). A State-based Approach for Modeling General Aviation Fixed-wing Accidents (Doctoral dissertation, Purdue University Graduate School).

[22].Houston, S. J., Walton, R. O., and Conway, B. A. (2012). Analysis of General Aviation Instructional Loss of Control Accidents. The Journal of Aviation/Aerospace Education and Research, Vol. 22, No.1, 2012, pp. 35–49.

[23].Fala, N., and Marais, K. (2016). Detecting Safety Events during Approach in General Aviation Operations. AIAA AVIATION, 16th AIAA Aviation, Technology, Integration, and Operations Conference, AIAA Paper 2016-3914, Washington, D.C., June 2016.

[24].Gavrilovski, A., Mavris, D.N. (2015). A Model-Based Approach for Event Definition in Support of Flight Data Monitoring. 41st European Rotorcraft Forum, Munich, Germany, September 2015.

[25].Cline Ph D, P. E. (2021). Human Error Analysis of Helicopter Emergency Medical Services (HEMS) Accidents Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). Journal of Aviation/Aerospace Education & Research, 28(1), 43-62.

[26].Rao, A. H., & Marais, K. (2020). A state-based approach to modeling general aviation accidents. Reliability Engineering & System Safety, 193, 106670.

[27].Ernst, J. M., Ebrecht, L., & Korn, B. (2021). Virtual Cockpit Instruments—How Head-Worn Displays Can Enhance the Obstacle Awareness of Helicopter Pilots. IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 36(4), 18-34.