

Research Paper

Dynamics Analysis of the Aviation Accident Management System in Iran and Identifying the Prevention Policies

Mostafa Moradi¹ , Ali Mohammad Ahmadvand¹ , *Marzieh Samadi-Foroushani^{1,2} 

1. Department of Industrial Engineering, School of Industrial Engineering, Eyvanekey University, Eyvanekey, Semnan Province, Iran.

2. Researcher, Disaster Mitigation and Management Organization, Tehran, Iran.

Use your device to scan
and read the article online**Citation** Moradi, M., Ahmadvand, A. M., Samadi-Foroushani, M., (2024). [Dynamics Analysis of the Aviation Accident Management System in Iran and Identifying the Prevention Policies (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 14(3):274-291. <https://crossmark.crossref.org/dialog/?doi=10.32598/DMKP.14.3.787.1> <https://doi.org/10.32598/DMKP.14.3.787.1>**ABSTRACT**

Background and objective Discovering the causes of aviation accidents and their prevention as well as solving aircraft design and construction defects are needed to prevent aviation accidents in the future. The present study aims to investigate the dynamics of the aviation accident management system in Iran and identify prevention policies.

Method In this study, a dynamic model for the aviation accident management system of Iran was designed based on the opinions of policy-makers and aviation experts. After validation, the model was simulated for a 20-year time horizon. According to the Monte Carlo sensitivity analysis results, the aviation accident prevention policies were identified based on three strategies: Development of the country's aircraft fleet, standardization and improvement of flight safety, and development of pilots' flight competencies. After applying the policies of each strategy separately on the tested model, the results were compared.

Results The identified policies included: 1. Financing and budget allocation for aircraft fleet development and purchasing new aircraft to reduce the obsolete fleet by 50% in 5 years, 2. Supporting the aircraft industries in the country and transferring advanced technologies to the country in contracts, 3.) Improving the standards of flight planning and existing aircraft, 4. Increasing the monitoring of flight planning implementation quality according to international standards, 5. Using the aircraft development financial resources for the development of flight safety equipment, 6. Investigating the causes of aviation accidents and implementing risk assessment tests according to national guidelines (CAD 1119), 7. Increasing the productivity of aviation higher education courses and improving the competences of pilots and 8. Increasing the monitoring of pilots' physical and mental fitness for flight.

Conclusion The proposed dynamics model of the aviation accident management system in Iran is an efficient model according to the data of national and international civil aviation organizations.

Keywords Disaster management, System dynamics modeling, Prevention, Aviation accidents, Policy making

Article Info:

Received: 2 Mar 2024

Accepted: 13 May 2024

Available Online: 01 Oct 2024

*** Corresponding Author:****Marzieh Samadi-Foroushani, PhD.****Address:** Department of Industrial Engineering, School of Industrial Engineering, Eyvanekey University, Eyvanekey, Semnan Province, Iran.**Tel:** +98 (23) 314321**E-mail:** moradi.m@ssau.ac.ir

Copyright © 2024 The Author(s) by "authors retain the copyright and full publishing rights"

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Annual aviation accidents impose a heavy financial burden on airlines and passenger lines directly or indirectly. Military aircraft accidents, in addition to causing heavy financial losses, have political and security consequences. According to the recently announced statistics by the Iranian Ministry of Roads and Urban Development, Iran has experienced an average of more than two plane crashes per year during the last 35 years (74 accidents in total). Meanwhile, more than 2200 Iranians have been victims of plane crashes. Discovering the cause of aviation accidents and preventing them as well as solving plane design and construction defects, are needed to prevent aviation accidents in the future. Aviation accidents have various classifications. In general, the types of aviation accidents include major, minor, moderate, catastrophic, disaster and non-flight. The current study aims to investigate the dynamics of aviation accident management in Iran and propose prevention policies.

Methods

This study focuses on system dynamics. The system dynamics methodology includes five major phases: Problem identification and definition, causal loop modeling, dynamic modeling, model testing and validation and policy definition and implementation.

After reviewing the studies on aviation accidents, the dynamic model of the aviation accident management system was designed with the participation of policy-makers and aviation experts. After validation using the boundary adequacy test, the trustworthiness criteria (credibility, transferability, dependability and confirmability), the reproducibility test, and the integration error test, the model was simulated for a 20-year time horizon. According to the results of the Monte Carlo sensitivity analysis, aviation accident prevention policies were then identified based on three strategies: Development of the country's aircraft fleet, standardization and improvement of flight safety and development of pilots' flight competencies. After applying the policies of each strategy separately on the tested model, the results were compared.

Results

The subsystem diagram of aviation accidents in Iran included six subsystems: Aviation accidents, flight safety, flight competency, aviation equipment, aviation human

resources and aviation financial resources. According to this diagram, the variables of each subsystem were identified and the cause-and-effect relationships between them were plotted by causal loop modeling. Then, the cause-and-effect model turned into a flow diagram.

Considering that none of the strategies or policies alone could reduce the rate of aviation accidents in a sustainable manner, new policies were presented with the combination of selected policies and applied in the model. The combined policies included: 1) Financing and budget allocation for aircraft fleet development and purchasing new aircraft to reduce the obsolete fleet by 50% in 5 years, 2) Supporting the aircraft industries in the country and transferring advanced technologies to the country in contracts, 3) Improving the standards of flight planning and existing aircraft, 4) Increasing the monitoring of flight planning implementation quality according to international standards, 5) Using the aircraft development financial resources for the development of flight safety equipment, 6) Investigating the causes of aviation accidents and implementing risk assessment tests according to international guidelines, 7) Increasing the productivity of aviation higher education courses and improving the competences of pilots and 8) Increasing the monitoring of pilots' physical and mental fitness for flight.

Conclusion

This study presented a practical model of the dynamics of Iran's aviation accident management system to develop air accident prevention policies based on improving flight safety. The combined policies showed favorable results in reducing aviation accidents, and their efficiency was confirmed according to the data of the national civil aviation organization, and the international civil aviation organization (ICAO). Based on the proposed combined prevention policies and the dynamic model of the system, it is recommended:

1) The process of budgeting and providing national and international financial resources should be revised and optimized; 2) The domestic aircraft industries should be supported, advanced technologies should be transferred to the country, and attention should be paid to the country's aircraft fleet; 3) The productivity of aviation higher education courses and the competence of pilots should be improved; 4) Quality monitoring of flight planning implementations should be increased.



Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

In this study, all ethical principles were considered. Since no experiments were conducted on animal or human samples, no ethical code was obtained.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for profit sectors.

Authors' contributions

Conceptualization, validation, data analysis, and supervision: Ali Mohammad Ahmadvand; Investigation, methodology, and writing the initial draft: Mostafa Moradi; Methodology, validation, data analysis, editing & review: Marzieh Samadi-Foroushani.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank all participants and Tehran Disaster Mitigation and Management (TDMMO) for their cooperation and support.



مقاله پژوهشی

تحلیل پویایی سیستم مدیریت بحران سوانح هوایی به منظور توسعه سیاست‌های پیشگیری سوانح مبتنی بر ارتقای ایمنی پرواز

مصطفی مرادی^۱، علی محمد احمدوند^۱، مرضیه صمدی فروشانی^{۲،*}

۱. گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه ایوان کی، ایوان کی، استان سمنان، ایران.

۲. پژوهشگر، سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

**Citation** Moradi, M., Ahmadvand, A. M., Samadi-Foroushani, M., (2024). [Dynamics Analysis of the Aviation Accident Management System in Iran and Identifying the Prevention Policies (Persian)]. *Disaster Prevention and Management Knowledge*, 14(3):274-291. <https://doi.org/10.32598/DMKP.14.3.787.1>**doi** <https://doi.org/10.32598/DMKP.14.3.787.1>

چکیده

زمینه و هدف: کشف علت بروز سوانح هوایی و پیشگیری از آن‌ها به عنوان موتور محرک تحقیق و توسعه صنعت هوایی مرجعی برای برطرف کردن ایرادات طراحی و ساخت به منظور پیشگیری از سوانح هوایی در آینده است. پژوهش حاضر در جست‌وجوی پویایی‌های مدیریت بحران سوانح هوایی کشور و شناسایی سیاست‌های پیشگیری از سوانح هوایی است.

روش: برای این منظور پس از مرور مطالعات سوانح هوایی، مدل پویایی سیستم مدیریت بحران سوانح هوایی با مشارکت سیاست‌گذاران و خبرگان حوزه هوانوردی طراحی شد. پس از اعتبارسنجی، مدل در افق ۲۰ ساله شبیه‌سازی شد و باتوجه به نتایج تحلیل حساسیت مونت کارلو، سیاست‌های پیشگیری از سوانح هوایی مبتنی بر ۳ راهبرد توسعه ناوگان هوایی کشور، استانداردسازی و ارتقای ایمنی پرواز و توسعه صلاحیت پروازی خلبانان شناسایی شد. سیاست‌های هر راهبرد به‌طور جداگانه بر روی مدل اعمال و نتایج مقایسه شد.

یافته‌ها: بر مبنای یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی مدل، سیاست‌های ترکیبی منتخب ارائه شد: ۱. تأمین مالی و تخصیص بودجه به توسعه ناوگان و خرید هواپیمای جدید به منظور کاهش ۵۰ درصدی ناوگان فرسوده در طول ۵ سال؛ ۲. حمایت از صنایع داخلی دانش‌بنیان ناوگان هوایی کشور و انتقال فناوری‌های پیشرفته به داخل در قراردادهای ۳. متناسب‌سازی استاندارد برنامه‌ریزی پرواز و هواپیماهای در دسترس؛ ۴. افزایش نظارت بر کیفیت اجرای برنامه‌ریزی پروازها طبق استانداردهای بین‌المللی؛ ۵. تخصیص منابع مالی توسعه ناوگان هوانوردی به توسعه تجهیزات ایمنی پرواز؛ ۶. بررسی و ریشه‌یابی علل سوانح هوایی و اجرای دستورالعمل ارزیابی ریسک طبق دستورالعمل‌های بین‌المللی (CAD1119 کشوری)؛ ۷. افزایش بهره‌وری دوره‌های آموزش عالی هوانوردی و توسعه صلاحیت کارکنان پروازی؛ ۸. افزایش نظارت بر رعایت شرایط آمادگی جسمی و روحی خلبانان برای پرواز.

نتیجه‌گیری: مدل پیشنهادی کاربردی از پویایی‌شناسی سیستم مدیریت بحران سوانح هوایی به منظور توسعه ابزار سیاست‌گذاری پیشگیری از سوانح هوایی، مبتنی بر ارتقای ایمنی پرواز است و کارایی آن باتوجه به داده‌های سازمان هواپیمایی کشوری و ویکائو نشان داده شده است.

کلیدواژه‌ها: مدیریت بحران، مدل‌سازی پویایی سیستم، پیشگیری، سوانح هوایی، سیاست‌گذاری

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۲ اسفند ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۲۴ اردیبهشت ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۱۰ مهر ۱۴۰۳

* نویسنده مسئول:

دکتر مرضیه صمدی فروشانی

نشانی: استان سمنان، ایوان کی، دانشگاه ایوان کی، دانشکده مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع.

تلفن: ۳۱۴۳۲۱ (۲۳) +۹۸

پست الکترونیکی: samadi.m@eyc.ac.ir

Copyright © 2024 The Author(s) by "authors retain the copyright and full publishing rights"

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode/en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.



مقدمه

سوانح هوایی سالانه مبالغ بسیار هنگفتی را به صورت مستقیم و غیرمستقیم به شرکت‌های هواپیمایی و خطوط مسافری تحمیل می‌کند. همچنین سوانح هواپیماهای نظامی، علاوه بر خسارت‌های بسیار سنگین مالی، دارای تبعات سیاسی و امنیتی نیز هست. باتوجه به آمار اعلام شده اخیر توسط وزارت راه و شهرسازی، در طی ۳۵ سال اخیر ایران به طور متوسط سالانه بیش از ۲ حادثه سقوط هواپیما (در مجموع ۷۴ سانحه) را تجربه کرده است. در این میان بیش از ۲۲۰۰ ایرانی قربانی سوانح هوایی شده‌اند. ایمنی همیشه به عنوان حیاتی‌ترین ویژگی عملیاتی هوانوردی در نظر گرفته می‌شود.

شبکه ایمنی هوانوردی^۱ بنیادی است که اطلاعات معتبر، به روز، کامل و قابل اعتمادی را در مورد سوانح هواپیما و مسائل ایمنی ارائه می‌دهد. پایگاه داده سوانح شبکه ایمنی هوانوردی هر روز به روز می‌شود و حاوی توضیحاتی در مورد بیش از ۲۳۰۰۰ هواپیمای مسافری (هواپیمایی که در اصل برای حمل ۱۲ مسافر یا بیشتر تأیید شده است)، هواپیماهای نظامی و سوانح هواپیماهای جت شرکتی یا خصوصی است. اطلاعات در درجه اول از آژانس‌های دولتی رسمی گرفته می‌شود، مانند هیئت‌های بررسی سوانح هوایی و مقامات هواپیمایی کشوری. همچنین این پایگاه داده حاوی توضیحاتی در مورد بیش از ۲۵۸۰۰۰ حادثه مربوط به هواپیماهای سبک، هواپیماهای نظامی، بالگردها، گلایدرها، بالون‌های هوای گرم و پهپادها است.

بر اساس گزارش شبکه ایمنی هوانوردی، ایران جزو یکی از پراسانه‌ترین کشورهای جهان با میانگین کل نرخ سوانح ۱/۲۶ سانحه در هر ۱ میلیون پرواز در طول ۵ سال گذشته بوده است (انجمن بین‌المللی حمل و نقل هوایی، ۲۰۲۳). نگاهی به آمار سوانح هوانوردی ایران نشان می‌دهد صنعت هوانوردی ایران با مشکلات متعددی مواجه است که حتی به رغم سابقه طولانی‌تر نسبت به خطوط هوایی کشورهای همسایه، اکنون در جایگاه پایین‌تری قرار دارد. بر اساس آمار شبکه ایمنی هوانوردی ایران، ۱۲۴۲ سانحه هوایی در میان هواپیماهای ایران رخ داده است که بین ۵۰ تا ۷۰ سانحه آن مرگبار بوده‌اند. می‌توان گفت وقوع چندین سانحه هوایی، متأثر از عدم توجه به رعایت اصول ایمنی در بخش‌های حاکمیتی بوده است (سالنامه آماری سازمان هواپیمایی ایران، ۲۰۲۳).

سوانح هوایی دارای طبقه‌بندی‌های متنوعی است. به طور کلی انواع سوانح هوایی شامل ۱. سانحه کلی^۲، ۲. سانحه جزئی^۳، ۳.

سانحه متوسط^۴، ۴. مصیبت بار^۵، ۵. فاجعه آمیز^۶ و ۶. رویدادهای غیر پرواز است (راعی و همکاران، ۲۰۲۱). سقوط در پرواز تحت کنترل^۸ در مقایسه با سایر دسته‌های تصادفات، میزان قابل توجهی از تلفات را به خود اختصاص می‌دهد. سقوط در پرواز تحت کنترل به سوانحی گفته می‌شود که طی آن هواپیماهای مختلف باری، مسافری، نظامی یا غیرنظامی در شرایط پرواز تحت کنترل با عوارض زمینی همچون کوه و یا حتی زمین‌های پست و هموار برخورد می‌کنند (کلی و افسیمیو، ۲۰۱۹).

باتوجه به تلفات جانی و صدمات جسمی، صدمات و هزینه‌های هنگفت تعمیرات و جایگزینی، هزینه‌های تجسس و یافتن هواپیماهای سقوط کرده، هزینه‌های بیمه و خسارات مالی به شخص ثالث و حساسیت بالای سازمان‌های دولتی به سوانح، باتوجه به از دست دادن اعتبار صنعت هوایی و شرکت‌های سازنده هواپیما، پیشگیری از سوانح و مدیریت ایمنی پرواز همواره به توجه سیاست‌گذاران و پژوهشگران صنعت هوانوردی وابسته است. بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد مطالعات گسترده‌ای در زمینه سوانح هوایی و پیشگیری از آن در دسترس است. دسته‌ای از این مطالعات بر تجزیه و تحلیل علل بروز سوانح هوایی تمرکز یافته‌اند. از این دسته می‌توان به مطالعات **لینه و همکاران (۲۰۰۸)** که به تجزیه و تحلیل علل سقوط هواپیمای عمومی در استرالیا پرداختند اشاره کرد. **هریزی و همکاران (۲۰۱۳)** به تجزیه و تحلیل عوامل سوانح هوایی در جهان (۱۹۵۰-۲۰۰۸) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی دریافتند علاوه بر شرایط آب‌وهوایی، رفتار خلبانان، کنترلرهای ترافیک هوایی، کارکنان ارشد تعمیر و نگهداری و مهندسان پرواز از علل کلیدی سوانح هوایی هستند.

همچنین **گوکر و همکاران (۲۰۲۱)** به تجزیه و تحلیل آماری تحقیقات سقوط هوایی از سال ۱۹۱۸ تا ۲۰۱۹ پرداختند و بر افزایش حجم ترافیک و تقاضا برای حمل و نقل هوایی و افزایش خطر سوانح هوایی در آینده تأکید کردند. **راعی و همکاران (۲۰۲۱)** به تحلیل سوانح پروازی هوانیروز در بازه زمانی ۱۹۸۹ الی ۲۰۱۹ با استفاده از ابزارهای داده کاوی پرداختند و ضمن بررسی آماری سوانح بالگردهای هوانیروز به این نتیجه رسیدند که خلبانان دارای ۱۵ تا ۲۰ سال تجربه پروازی از ریسک بالاتری نسبت به سایر خلبانان برخوردارند.

دسته‌ای از مطالعات به بررسی عوامل انسانی بروز سوانح هوایی تمرکز یافته‌اند. در این حوزه **ایلماز (۲۰۱۹)** در پژوهشی به رویکرد استراتژیک برای مدیریت ریسک عوامل انسانی در سازمان تعمیر و نگهداری هواپیما پرداخت و نشان داد طراحی

5. Moderate

6. Catastrophic

7. Disaster

8. Controlled Flight Into Terrain (CFIT)

1. Aviation Safety Network (ASN)

2. The International Air Transport Association (IATA)

3. Major Accident

4. Minor Accident

میر و همکاران (۲۰۲۱) به مدیریت بحران سوانح هوایی برزیل پرداخته و جنبه‌های انسانی و فناوریانه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد مفاهیم مدیریت بحران سانحه بر هشدار دادن به سازمان‌ها با تأکید بر تمرکز بر مدیریت قابلیت اطمینان، انعطاف‌پذیری و وجدان متمرکز است و تغییراتی در عملیات سازمان‌هایی که به دنبال یادگیری از رویدادهای غیرمنتظره و واکنش سریع برای بهبود مستمر پاسخگویی خدمات خود هستند، نیاز است. **برجلی‌لو و همکاران (۱۴۰۲)** به شناسایی انواع خطاهای تأثیرگذار بر عملکرد خلبانان و نحوه ارزیابی آن و اکتشاف عوامل ایمنی تأثیرگذار (معیارهای مؤثر بر مدیریت خدمه پرواز، خستگی کادر پرواز، وضعیت ترکیب خلبان‌ها در پرواز، نتایج آموزش‌های کادر پروازی) پرداختند.

دسنت و همکاران (۲۰۲۱) در بررسی تأثیر عوامل انسانی بر رفتار ایمنی خلبانان در شرکت‌های هواپیمایی فراساحلی در برزیل نشان دادند تا حدی به عوامل انسانی بی‌توجهی شده است. **قاسمی و همکاران (۱۴۰۲)** به بررسی اثر خطای انسانی در حوادث هواپیمایی پرداختند. این خطاهای توانمند شامل خطاهای خلبانان و کنترل ترافیک هوایی، خطاهای ناشی از تدارکات زمینی مانند عدم نگهداری و تعمیر مناسب هواپیماها و نقص‌های عملکردی خدمه هواپیما باشد.

مطالعات محدودی به مدل‌سازی پویایی سیستم در حمل‌ونقل هوایی و مدیریت سوانح هوایی پرداخته‌اند. **زعیم و همکاران (۲۰۱۳)** به مدل‌سازی پویایی سیستم عملکرد خطوط هوایی ترکیب پرداختند و سیاست‌های مدیریت دانش را بر بهبود عملکرد مورد بررسی قرار دادند. **شفر و همکاران (۲۰۱۴)** به مرور مدل‌های دینامیک سیستم به‌کاررفته در حمل‌ونقل هوایی پرداختند و سیاست‌های توسعه زیرساخت‌های فرودگاهی و چرخه‌های تجاری خطوط هوایی را از حوزه‌های کاربردی نوظهور حمل‌ونقل هوایی دانستند. **وو و همکاران (۲۰۲۳)** به تحلیل اثر دینامیکی خطاهای انسانی در ایمنی هوانوردی پرداختند و نشان دادند عوامل انسانی به‌طور فزاینده عامل اصلی سوانح هواپیما بوده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد با اقدامات برای افزایش ایمنی توصیه‌شده، پایداری سیستم هوانوردی افزایش می‌یابد و در نتیجه نرخ کلی تصادف کاهش می‌یابد. **ابراهیمی و نجفی (۲۰۱۵)** مدل پویایی‌شناسی سیستم بهبود ایمنی پرواز را ارائه دادند و نشان دادند کنترل کافی برای چک‌های پزشکی وجود ندارد و خستگی، فشار کاری و اقتصادی و استرس در کارکنان پرواز مشاهده می‌شود.

با مرور پیشینه‌های مطالعاتی می‌توان نتیجه گرفت علی‌رغم اهمیت موضوع سوانح هوایی و تأکید پژوهشگران بر بررسی سوانح و یا راهبردهای پیشگیری از آن در سطح بین‌المللی و ملی، مطالعات بسیار محدودی مدل‌های پویایی‌شناسی سیستم سوانح هوایی را مورد توجه قرار داده‌اند. بنابراین در پژوهش حاضر تلاش می‌شود به طراحی مدل پویایی سیستم مدیریت بحران سوانح

مدل مدیریت ریسک عوامل انسانی، ابزاری مفید برای مدیریت ریسک‌های ارگونومیک مبتنی بر عوامل انسانی در توسعه استراتژی در مدیریت کسب‌وکار هوانوردی است. **کلی و افسیمیو (۲۰۱۹)** به تجزیه و تحلیل عوامل انسانی در ۵۰ پرواز کنترل‌شده سوانح هوایی از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۷ در ۲۴ کشور پرداختند. عوامل انسانی نظیر حواس پرتی، نارضایتی و خستگی خدمه پرواز و خطاهای تصمیم‌گیری و مهارت‌محور به همراه مسائل ارتباطی، هماهنگی و برنامه‌ریزی از عوامل شایع سوانح هوایی است. **مرادی و همکاران (۲۰۲۱)** با اشاره به اینکه یکی از فاکتورهای مهم موفقیت و کاهش سوانح پروازی، در نظر گرفتن تناسب فیزیکی خلبانان با فضای داخلی کابین هواپیمای مربوطه است، به ارائه الگوی تعیین نوع هواپیمای خلبانان مبتنی بر فاکتورهای آنتروپومتریک پرداختند. **مرادی و ضرغامی (۲۰۲۳)** به شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های پیکرشناسی مؤثر بر عملکرد خلبانان در داخل کابین هواپیما و معیارهایی برای گزینش دانشجویان خلبانی در دانشگاه‌ها و مراکز آموزش خلبانی و تخصیص خلبانان به هواپیماهای متناسب پرداختند.

مطالعات دیگری نیز بر رویکردهای ارتقای ایمنی پرواز تمرکز یافته‌اند. در این دسته مطالعات **گویدا و همکاران (۲۰۲۲)** به بررسی سوانح هوایی، تحلیل مکانیسم جراحات سرنشینان و آسیب‌های هواپیما پرداخته و استراتژی‌های حفاظت از سرنشینان و عملکرد سازه‌های هواپیما در هنگام سناریوهای برخورد را بر مبنای طراحی قابلیت‌های صندلی مسافری مورد بررسی قرار داده‌اند. **چای و همکاران (۲۰۲۱)** به تجزیه و تحلیل آثروالاستیک و کنترل فلاتر بال‌ها و پانل‌ها پرداختند و رهنمون‌هایی درمورد طراحی بال‌ها و سازه‌های پانل جدید برای بهبود ایمنی پرواز ارائه دادند. **پنگ و همکاران (۲۰۲۱)** به شبیه‌سازی مخازن ذخیره‌سازی که در معرض سقوط هواپیمای تجاری بزرگ قرار گرفته‌اند پرداختند. **القاصر و همکاران (۲۰۲۱)** به کنترل زمان محدود حرکت بال-ثابت برای هواپیماهایی که دارای بالادلتا هستند پرداختند. **یولیان و همکاران (۲۰۱۹)** به طراحی مدل شبکه عصبی برای سیستم پیشگیری از برخورد هواپیما پرداختند و نشان دادند توسعه شبکه ایمنی، کارایی سیستم جلوگیری از برخورد را بهبود می‌بخشد. **یحیوی و همکاران (۱۴۰۲)** مدل جدیدی جهت بهینه‌سازی خطر ایمنی تیک‌آف، به‌عنوان مهم‌ترین و خطرناک‌ترین فرایند پرواز، با استفاده از ترکیب الگوریتم هوش تجاری و شبکه عصبی بازگشتی ارائه دادند.

خاروفا و همکاران (۲۰۱۸) مروری بر عوامل انسانی دخیل در حوادث هوایی و حوادث حمل‌ونقل هوایی تجاری از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ داشتند. این مطالعه علل مختلف عوامل انسانی را در نمونه‌های تصادفی در بیش از ۲۰۰ حادثه و رویداد حمل‌ونقل هوایی تجاری بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ بررسی کرده است. مهم‌ترین عامل انسانی، آگاهی موقعیتی و به دنبال آن عدم پابندی به رویه‌ها بود.



خلبانان، همچنین استفاده از مستندات سازمانی و استفاده از نظرات برنامه‌ریزان پیشگیری از سوانح هوایی کشور از طریق نرم‌افزار «ونسیم» طراحی شده است. همچنین مدل جریان سوانح هوایی با نرم‌افزار ونسیم طراحی شد که بر مبنای داده‌های سازمان هوایی کشور، شبکه ایمنی هوانوردی و ایکائو و نیز با مشارکت خبرگان صنعت شبیه‌سازی بود (جدول شماره ۱). در ادامه داده‌های مدل در جدول شماره ۲ و مشخصات خبرگان صنعت هوانوردی در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

یافته‌ها

ساختار بندی مسئله

پس از مرور ادبیات و بررسی پیشینه پژوهش، عوامل مؤثر بر سوانح هوایی شناسایی و نمودار زیرسیستم‌های مدل با مشارکت خبرگان طراحی شد. تصویر شماره ۱ نمودار زیرسیستم‌های مدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمودار زیرسیستم‌های سوانح هوایی شامل ۶ زیرسیستم سوانح هوایی، ایمنی پرواز، صلاحیت پروازی، تجهیزات هوانوردی، منابع انسانی هوانوردی و منابع مالی هوانوردی است. در ادامه باتوجه به عوامل شناسایی شده و با مشارکت خبرگان مسئله مرز سیستم مدل پویای پیشگیری از سوانح هوایی مبتنی بر مدیریت ایمنی تعیین شد.

نمودار علی معلولی

با بررسی‌های کتابخانه‌ای و مشارکت خبرگان هوانوردی کشور و باتوجه به نمودار زیرسیستم‌های مدل، متغیرهای هریک از زیرسیستم‌ها شناسایی و روابط علی و معلولی ترسیم شد. یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار در سوانح هوایی موضوع منابع مالی در دسترس است. منابع مالی در دسترس صنعت هوایی کشور، منابع مالی دولتی و یا منابعی با مشارکت سرمایه‌گذاران بخش خصوصی است. باتوجه به موضوع مسئله که پیشگیری از سوانح هوایی است و باتوجه به محدودیت‌ها و ظرفیت‌های منابع مالی در شرایط تحریم‌های بین‌المللی کنونی، عواملی چون ناوگان فرسوده هوایی، هزینه‌های بالای نگهداری و تعمیر و هزینه‌های آموزشی خلبانان مدنظر گرفته شد. از دگر سوی، یکی دیگر از علل تأثیرگذار در سوانح هوایی، اشتباهات خلبانان است، در همین راستا علل جذب خلبانان مستعد، آموزش‌های عالی هوانوردی، آمادگی جسمانی و روحی خلبانان، تهیه استانداردهای لازم و انتقال دانش خبرگان پروازی در نظر گرفته شده‌اند. ایمنی پرواز نیز معلول علی همچون تجهیزات فرودگاهی، تجهیزات زمینی و ناوبری، تجهیزات ایمنی، فرسودگی ناوگان، استاندارد پرواز و تخلفات خلبان است. تصویر شماره ۲ نمودار علی سوانح هوایی را ارائه کرده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود حلقه‌های علی بسیاری در این نمودار وجود دارد. جدول شماره ۴ به تشریح برخی از حلقه‌های تشدیدکننده و تعدیل‌کننده سوانح هوایی پرداخته است.

هوایی به‌منظور شناسایی و ارزیابی و ارائه سیاست‌های پیشگیرانه جهت کاهش سوانح هوایی پرداخته شود.

برای این منظور ابتدا پس از مرور ادبیات موضوعی عوامل مؤثر بر بروز یک سانحه هوایی شناسایی شد و با مشارکت خبرگان صنعت هوانوردی کشور مدل پویایی‌های سیستم پیشگیری از سانحه هوایی با تأکید بر ایمنی پرواز به‌منظور شناخت سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان مدیریت بحران سوانح هوایی کشور از پیچیدگی‌ها و پویایی‌های علی سوانح هوایی ارائه شد.

روش

روش‌شناسی پژوهش حاضر متمرکز بر پویایی‌شناسی سیستم است. روش‌شناسی پویایی سیستم، رویکردی برای مدل‌سازی به‌منظور درک رفتار غیرخطی سیستم‌های پیچیده در طول زمان است. در ۲ دهه گذشته پویایی سیستم کاربردهای بسیاری در مدیریت بحران داشته است و در طیف متنوعی از مطالعات شامل تجزیه و تحلیل، سیستم پشتیبانی تصمیم، آمادگی و پاسخ به بحران، پیش‌بینی، بهبود عملکرد، تنظیم برنامه‌ها و پیامدهای سیاست‌ها طبقه‌بندی می‌شود (عبدالطیف و همکاران، ۲۰۲۳). روش‌شناسی پویایی سیستم به‌منظور مدل‌سازی سیستم‌های پیچیده کاربرد دارد و گام‌هایی را دربر می‌گیرد.

گام اول

شناسایی و تعریف مسئله: مهم‌ترین گام در مدل‌سازی، شناسایی و تعریف مسئله (ساختار بندی مسئله) است.

گام دوم

طراحی نمودار حلقه علی: پس از شناسایی فرضیه‌های پویا، ساختن مدل مفهومی (نمودار علی) رابطه بین پدیده‌ها را بیان می‌کند.

گام سوم

طراحی نمودار جریان مدل.

گام چهارم

شبیه‌سازی و اعتبارسنجی مدل.

گام پنجم

تعریف سیاست‌های مختلف، انتخاب و پیاده‌سازی راه‌حل مناسب (استرمن، ۲۰۰۰).

پژوهش حاضر به‌منظور شناخت از مسئله پیشگیری از سوانح هوایی ابتدا به شناسایی عوامل مختلف آن پرداخته و سپس بر مبنای مدل علی معلولی سوانح هوایی با مشارکت کارکنان،

جدول ۱. تعداد سوانح مرگبار ایران براساس آمار شبکه ایمنی هوانوردی و ایکائو (ملک جهان نصرتی و همکاران، ۲۰۲۳).

سال	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰
تعداد سانحه	۰	۲	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۰
تلفات جانی	۰	۳۸	۰	۰	۰	۶۶	۱۷۶	۰	۰

نمودار جریان مدل

پس ترسیم مدل علی و معلولی و شناخت و آگاهی کافی از عوامل، به منظور شبیه سازی مدل علی و معلولی نیاز است تا آن را به نمودار جریان تبدیل کنیم. نمودار جریان بیان کننده مفهوم اساسی پویایی شناسی سیستم ها، یعنی ساختارهای بازخوردی از روابط انباره ها و جریان ها است که رفتار سیستم را ایجاد می کند. این نمودار از ۳ نوع متغیر انباره، جریان و کمکی

تشکیل شده است. برای ترسیم نمودار علت و معلولی، جریان و شبیه سازی مدل از نرم افزار ونسیم استفاده شده است. تصویر شماره ۳ مدل پویایی سیستم سوانح هوایی کشور را نشان می دهد. جدول شماره ۵ به تشریح برخی از روابط ریاضی و منطقی مدل پرداخته است. جدول شماره ۶ برخی از پارامترها و مقادیر ثابت مدل را نشان می دهد.

جدول ۲. آمار صنعت هوایی کشور (سازمان هواپیمایی کشور، ۲۰۲۳)

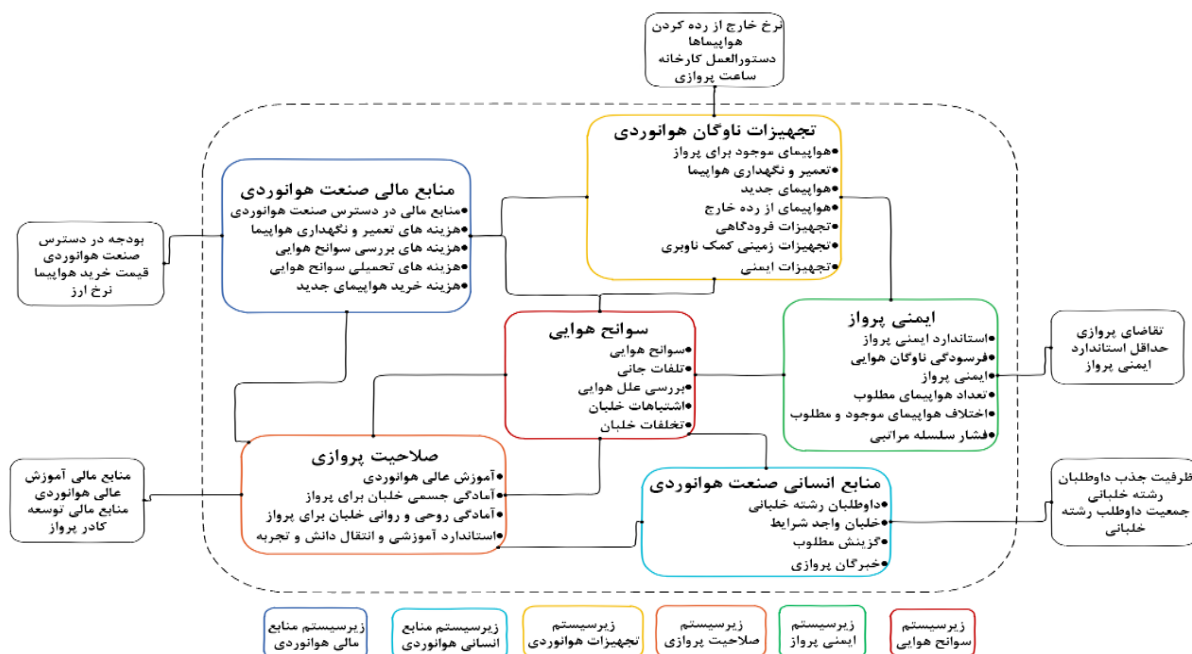
سال	تعداد پروازهای انجام شده	تعداد ناوگان هوایی داخلی	اعتبارات صنعت هوایی (میلیون ریال)	تعداد خلبانان و کمک خلبانان
۱۳۹۲	۱۵۲۲۴۵	۲۳۶	۶/۰۳۱/۰۸۶	۱۳۷۷
۱۳۹۳	۱۵۴۳۰۸	۲۴۷	۴/۸۹۸/۲۱۶	۱۴۴۲
۱۳۹۴	۱۶۳۴۰۷	۲۶۸	۳/۵۸۱/۶۴۹	۱۴۷۰
۱۳۹۵	۱۹۱۷۳۷	۲۹۴	۳/۷۷۹/۰۵۶	۱۵۴۱
۱۳۹۶	۲۰۸۳۰۶	۳۰۹	۳/۵۸۱/۶۴۹	۱۵۶۰
۱۳۹۷	۱۸۰۸۳۱	۳۱۲	۳/۷۵۰/۲۸۸	۱۵۵۴
۱۳۹۸	۱۷۰۳۸۹	۳۱۸	۳/۹۴۲/۶۲۸	۱۵۹۷
۱۳۹۹	۱۴۵۶۷۲	۳۲۶	۳/۷۳۴/۶۹۲	۱۵۹۶
۱۴۰۰	۱۷۰۱۲۵	۳۳۷	۱۰/۷۲۴/۵۲۲	۱۶۳۸

جدول ۳. مشخصات مشارکت کنندگان پژوهش منتخب از خبرگان صنعت هوانوردی

ردیف	سطح تحصیلات	دانش تخصصی	سابقه (سال)	حوزه تخصصی
۱	دکتری تخصصی	مهندسی صنایع	۱۰ <	مدیریت بحران / سوانح
۲	دکتری تخصصی	مهندسی هوافضا	۳۰ <	بررسی سوانح هوایی
۳	دکتری تخصصی	مهندسی سیستم	۳۰ <	مدیریت بحران
۴	دکتری تخصصی	آینده پژوهی	۲۵ <	هوانوردی
۵	دکتری تخصصی	مهندسی صنایع	۳۰ <	تحلیل سیستم
۶	دکتری تخصصی	مهندسی هوافضا	۲۰ <	هوانوردی
۷	دکتری تخصصی	ایمنی و مراقبت پرواز	۱۵ <	ایمنی و مراقبت پرواز
۸	کارشناسی ارشد	علوم اقتصادی	۲۵ <	اقتصاد / صنعت هوانوردی

جدول ۴. تشریح برخی از حلقه‌های مدل علی معلولی پویایی سیستم سوانح هوایی

حلقه	تشریح حلقه
تعدیل‌کننده بررسی سوانح هوایی	افزایش سوانح هوایی، افزایش بررسی سوانح هوایی، افزایش انتقال دانش و تجربه، افزایش صلاحیت پروازی، کاهش اشتباهات خلبان، کاهش سوانح هوایی.
تشدیدکننده سوانح هوایی	افزایش سوانح هوایی، کاهش تعداد هواپیمای در دسترس برای پرواز، افزایش اختلاف هواپیمای موجود و هواپیمای مطلوب برای پرواز، افزایش فشار سلسله‌مراتب (مدیریتی)، کاهش استاندارد پرواز، کاهش ایمنی پرواز، افزایش تخلفات خلبانان، افزایش سوانح هوایی
تشدیدکننده آمادگی جسمی خلبان برای پرواز	افزایش سوانح هوایی، کاهش اعتمادبه‌نفس خلبانان، افزایش غیبت غیرموجه، افزایش فشار روی خلبانان دیگر کاهش آمادگی جسمی خلبان برای پرواز، افزایش اشتباهات خلبان، افزایش سوانح هوایی
تشدیدکننده آمادگی روحی و روانی خلبان برای پرواز	افزایش سوانح هوایی، افزایش تلفات جانی، کاهش آمادگی روحی و روانی، افزایش اشتباهات خلبان، افزایش سوانح هوایی
تشدیدکننده خرید هواپیمای جدید	افزایش خرید هواپیمای جدید، کاهش فرسودگی ناوگان، کاهش تعمیر و نگهداری، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، افزایش بودجه در دسترس، افزایش خرید هواپیمای جدید
تشدیدکننده صلاحیت پروازی	افزایش منابع مالی در دسترس، افزایش توسعه کارکنان پروازی، افزایش صلاحیت پروازی، کاهش اشتباهات خلبان، کاهش سوانح هوایی، کاهش هزینه‌های تحمیلی، افزایش منابع مالی در دسترس
تشدیدکننده فرسودگی ناوگان هوایی	افزایش سوانح هوایی، افزایش هزینه‌های تحمیلی، کاهش منابع مالی در دسترس، کاهش خرید هواپیمای جدید، افزایش فرسودگی ناوگان، کاهش ایمنی پرواز، افزایش سوانح هوایی
تشدیدکننده نظارت بر کیفیت برنامه‌ریزی پروازها طبق استاندارد	افزایش اشتباهات خلبان، افزایش سوانح هوایی، افزایش هزینه‌های تحمیلی، کاهش منابع مالی در دسترس، کاهش نظارت بر کیفیت برنامه‌ریزی پروازها طبق استاندارد
تشدیدکننده خلبانان مستعد	افزایش شهرت شغل خلبانی، افزایش جمعیت داوطلب، افزایش داوطلبان رشته خلبانی، افزایش ظرفیت جذب داوطلب رشته خلبانی، افزایش گزینش مطلوب‌تر، افزایش خلبانان مستعد، افزایش آمادگی جسمی برای پرواز کاهش اشتباهات خلبانان، کاهش سوانح هوایی، افزایش شهرت شغل خلبانی
تشدیدکننده تلفات جانی	افزایش سوانح، افزایش تلفات جانی، کاهش خبرگان پروازی، کاهش منابع دانش و تجربه، کاهش آموزش و انتقال دانش و تجربه، کاهش صلاحیت پروازی، افزایش اشتباهات خلبانان، افزایش سوانح هوایی.



تصویر ۱. زیرسیستم‌های مدل پیشگیری از سوانح هوایی کشور مبتنی بر مدیریت ایمنی پرواز

جدول ۵. روابط ریاضی متغیرهای مدل پویایی سیستم سوانح هوایی کشور

یکا	تابع ریاضی و منطقی مدل	نام متغیر
درصد/سال	(نرخ فرسودگی ناوگان/خریب تأثیر فرسودگی ناوگان) + (تخلفات خلبان/خریب تأثیر تخلفات خلبان بر ایمنی) + (توسعه تجهیزات ایمنی/خریب تأثیر توسعه تجهیزات ایمنی) + (توسعه تجهیزات زمینی و ناوبری/خریب تأثیر توسعه تجهیزات زمینی) + (توسعه تجهیزات فرودگاهی/خریب تأثیر توسعه تجهیزات فرودگاهی) - (توسعه تجهیزات زمینی) + (توسعه تجهیزات فرودگاهی/خریب تأثیر توسعه تجهیزات فرودگاهی) - (توسعه تجهیزات زمینی)	تغییر در ایمنی پرواز
درصد	INTEG (تغییر در ایمنی پرواز)	ایمنی پرواز
میلیارد تومان	INTEG (منابع مالی توسعه ناوگان هوانوردی، تغییرات بودجه، هزینه‌ها)	منابع مالی در دسترس صنعت هوایی
هواپیما/سال	هواپیماهای موجود برای پرواز/زمان تعمیر و نگهداری	نرخ تعمیر و نگهداری
هواپیما/سال	هواپیماهای در حال تعمیر و نگهداری/زمان مورد نیاز تعمیر و نگهداری	ورود هواپیما پس از تعمیر و نگهداری
هواپیما	INTEG (خرید هواپیما + ورود هواپیما پس از تعمیر و نگهداری، زمین گیر شدن هواپیما بر اثر سانحه، خارج از رده، نرخ تعمیر و نگهداری)	هواپیماهای موجود برای پرواز
هواپیما	INTEG (نرخ تعمیر و نگهداری، ورود هواپیما پس از تعمیر و نگهداری)	هواپیماهای در حال تعمیر و نگهداری
سانحه	INTEG (MAX نرخ سوانح هوایی)، ۰	کل سوانح هوایی
سانحه/سال	A LOOK UP FUNCTION OF (اشتباهاات خلبان، ایمنی پرواز، ضریب اشتباهاات منجر به سانحه)	نرخ سوانح هوایی
اشتباها	INTEG (تغییرات اشتباهاات خلبان)	اشتباهاات خلبان
dmnl	IF THEN ELSE (خلبانان واجد شرایط پرواز، فشار روی دیگر خلبانان/ (ضریب آمادگی جسمی برای پرواز < ۰، ۱))	آمادگی جسمی برای پرواز
dmnl	IF THEN ELSE (تلفات جانی < ۱، ۰)	آمادگی روحی روانی برای پرواز
شخص	میانگین تلفات هر سانحه × نرخ سوانح هوایی	تلفات جانی
سانحه/سال	DELAY1 (کل سوانح هوایی، مدت زمان مورد نیاز بررسی سوانح هوایی)	بررسی سوانح هوایی
dmnl	(زمان استاندارد تعمیر / نرخ فرسودگی ناوگان) - ۱	فرسودگی ناوگان هوایی
درصد	IF THEN ELSE (اختلاف هواپیمای موجود و هواپیمای مطلوب برای پرواز < ۰ (اختلاف هواپیمای موجود و هواپیمای مطلوب برای پرواز) / (اختلاف هواپیمای موجود و هواپیمای مطلوب برای پرواز، تعداد هواپیمای مطلوب جهت پرواز))	درصد اختلاف هواپیمای موجود و هواپیمای مطلوب برای پرواز
خلبان	INTEG (تبدیل خلبان تازه کار به خبره، بازنگشتگی، تلفات جانی خلبانان مستعد بر اثر سانحه هوایی)	خلبانان خبره
dmnl	خلبانان خبره / خلبانان تازه کار + خلبانان خبره + دانشجویان خلبانی	نسبت خلبانان خبره به کل
درصد	SMOOTH (MAX (۱۰۰ - کل سوانح هوایی/اثر سوانح هوایی بر شهرت شغل خلبانی)، ۰، ۲))	شهرت شغل خلبانی
ساعت	DELAY1 (توسعه کارکنان پروازی و برنامه ریزی راهبردی/هزینه دوره های ارتقای صلاحیت، زمان مورد نیاز برگزاری دوره های ارتقای صلاحیت پروازی)	دوره های ارتقای صلاحیت پروازی

شماره ۵ نتایج شبیه سازی متغیرهای کلیدی مدل را ارائه کرده است.

اعتبارسنجی و شبیه سازی اولیه مدل پویایی سیستم

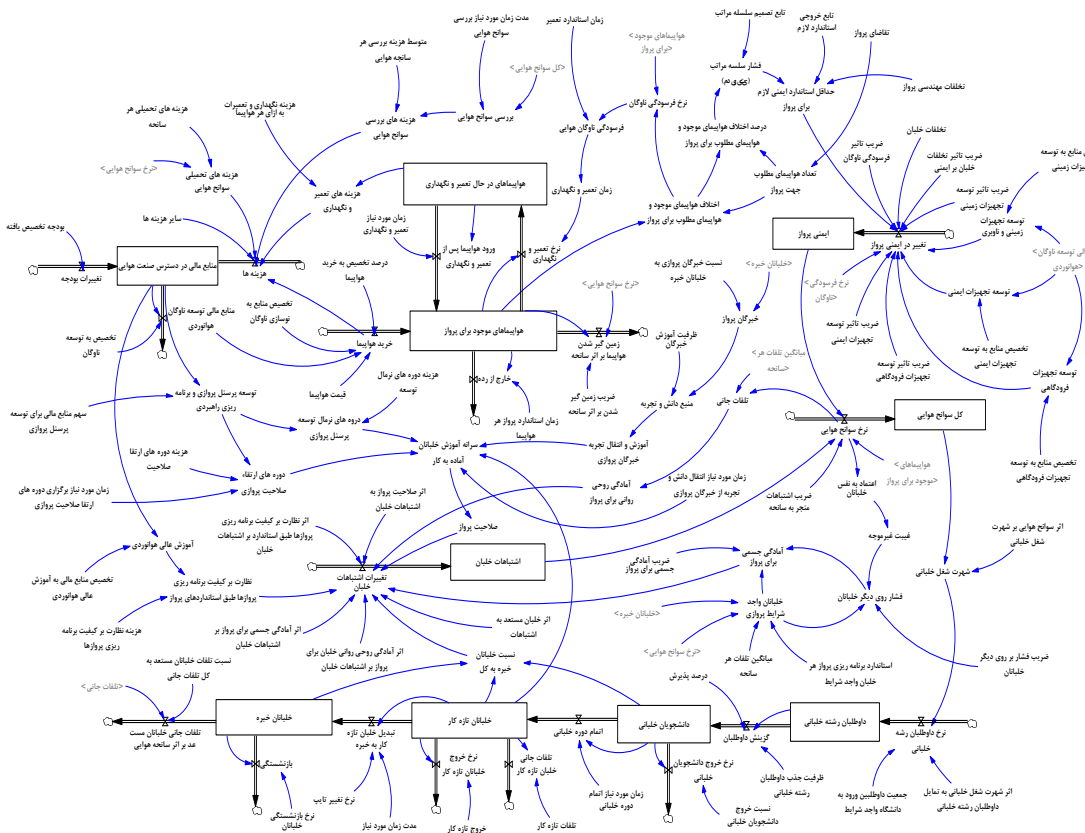
در ادامه با توجه به نتایج تحلیل حساسیت مدل متغیرهایی که بیشترین دامنه تغییرات را ایجاد می کردند و به اصطلاح نقاط اهرمی مدل، شناسایی شدند. نتایج تحلیل حساسیت مونت کارلو مدل همان طور که در **تصویر شماره ۶** مشاهده می شود، نشان داد مدل به بودجه اختصاص یافته، تخصیص منابع مالی به توسعه صنعت هوانوردی، تخصیص منابع به خرید هواپیمای جدید، تخصیص منابع به توسعه تجهیزات ایمنی، نظارت بر کیفیت برنامه ریزی پرواز منطبق با استاندارد و سهم منابع مالی برای توسعه کارکنان پروازی حساسیت بالایی دارد.

برای اعتبارسنجی علاوه بر تأیید آزمون کفایت مرزهای مدل برای پرداختن به مسئله و تطبیق ساختار مدل با دانش توصیفی از سیستم توسط متخصصان بر مبنای معیارهای اعتماد پذیری، قابلیت انتقال پذیری، تأیید پذیری و قابلیت اعتماد، آزمون های اعتبارسنجی ساختاری و رفتاری، شامل آزمون باز تولید رفتار، آزمون سازگاری ساختار و ابعاد و آزمون خطای انترگرال گیری همان طور که در **تصویر شماره ۴** مشاهده می شود، انجام شد.

پس از اعتبارسنجی، مدل در افق ۲۰ ساله شبیه سازی شد. **تصویر**



تصویر ۲. نمودار علی معلولی پویایی سیستم سوانح هوایی کشور



تصویر ۳. نمودار جریان مدل پویایی سیستم سوانح هوایی کشور

جدول ۶. برخی از مقادیر اولیه و ثابت‌های مدل پویایی سیستم سوانح هوایی کشور

یکا	مقدار	ثابت	یکا	مقدار	ثابت
سورتنی پرواز	۱۷۹۶۰	تقاضای پرواز	هواپیما	۳۳۷	هواپیمای موجود برای پرواز
میلیارد تومان به ازای هر هواپیما	۱۲۰	متوسط قیمت هواپیما	میلیارد تومان	۱۰۷۲	منابع مالی در دسترس صنعت هوایی
سال	۴	زمان مورد نیاز اتمام دوره خلبانی	هواپیما	۳۰	هواپیمای در حال تعمیر و نگهداری
سال	۲	مدت زمان بررسی هر سانحه هوایی	خلبان	۵۳۸	خلبانان خبره

سیاست‌گذاری مدیریت سوانح هوایی

باتوجه به نتایج تحلیل حساسیت مدل پویایی سیستم و شناسایی نقاط اهرمی، سیاست‌های پیشگیری از سوانح هوایی در ۳ دسته راهبرد توسعه ناوگان هوایی کشور، استانداردسازی و ارتقای ایمنی پرواز و توسعه صلاحیت پروازی خلبانان با مشارکت برنامه‌ریزان و خبرگان صنعت هوانوردی کشور شناسایی شد. **جدول شماره ۷** به تشریح سیاست‌ها و تغییرات اعمال شده هریک از راهبردها پرداخته است. در ادامه با اعمال تغییرات سیاستی هریک از راهبردها بر روی مدل پویایی سیستم، رفتار متغیرهای

کلیدی به‌طور جداگانه و در مقایسه موردبررسی قرار خواهد گرفت. **تصویر شماره ۷** نتایج مقایسه رفتار متغیرهای کلیدی مدل را ارائه کرده است.

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد هیچ‌یک از راهبردها و سیاست‌ها به تنهایی نتوانسته نرخ سوانح هوایی را به‌صورت پایدار کاهش دهد. با وجود این راهبرد استانداردسازی و ارتقای ایمنی پرواز در مقایسه با دیگر راهبردها نرخ سوانح هوایی را تا حدود مناسب‌تری کاهش داده است، اما این راهبرد نیز رفتار نوسانی نرخ سوانح هوایی را پیش‌بینی کرده است. در ادامه تلاش شد با ترکیب راهبردها و سیاست‌های منتخب باتوجه به محدودیت

جدول ۷. راهبردها و سیاست‌های پیشگیری سوانح هوایی مبتنی بر ایمنی پرواز

راهبرد	سیاست	تغییرات اعمال شده در مدل
توسعه ناوگان هوایی کشور	۱. تأمین مالی و تخصیص بودجه به توسعه ناوگان و خرید هواپیمای جدید به‌منظور کاهش ۵۰ درصدی ناوگان فرسوده در طول ۵ سال	افزایش سالیانه مبلغ ۶۰۰۰۰ میلیارد ریال بودجه در طول ۵ سال از طریق ابزارهای تأمین مالی (بورس، فرابورس، جذب سرمایه‌گذار بین‌المللی، جذب سرمایه بخش خصوصی و غیره)
	۲. حمایت از صنایع داخلی دانش‌بنیان ناوگان هوایی کشور و انتقال فناوری‌های پیشرفته به داخل در قراردادهای	افزایش متغیر حمایت از دانش‌بنیان‌ها و ایجاد حلقه بازخوردی و در نظر گرفتن ضریب تأثیر بر هزینه‌ها و زمان تعمیر و نگهداری
	۳. استانداردسازی زمان سرویس دهی هواپیماهای موجود و متناسب‌سازی استانداردهای تعمیر و نگهداری.	کاهش ۱۰ درصدی زمان پرواز هواپیما و متناسب‌سازی با زمان استاندارد نگهداشت و تعمیر
	۴. متناسب‌سازی زمان استاندارد پرواز هر هواپیما و خارج از رده کردن هواپیماهای فرسوده و غیرایمن.	افزایش سالیانه ۵ درصد هواپیماهای خارج از رده در طول ۵ سال باتوجه به نوسازی ناوگان
استانداردسازی و ارتقای ایمنی پرواز	۱. متناسب‌سازی استاندارد برنامه‌ریزی پرواز و هواپیماهای در دسترس.	کاهش ۵ درصدی تقاضای پرواز به‌منظور متناسب‌سازی با هواپیمای در دسترس
	۲. کاهش فشار سلسله‌مراتب مدیریتی در راستای انجام پروازهای ایمن.	کاهش سالیانه ۱۰ درصد تخلفات ایمنی پرواز با منشأ فشار سلسله‌مراتب مدیریتی انجام پرواز غیرایمن.
	۳. افزایش نظارت بر کیفیت اجرای برنامه‌ریزی پروازها طبق استانداردهای بین‌المللی	کاهش سالیانه ۵ درصد اشتباهات خلبانان.
	۴. تخصیص منابع مالی توسعه ناوگان هوانوردی به توسعه تجهیزات ایمنی پرواز	افزایش سالیانه مبلغ ۵۰۰۰ میلیارد ریال بودجه در طول ۵ سال به‌منظور تأمین مالی توسعه تجهیزات ایمنی هوانوردی
توسعه صلاحیت پروازی خلبانان	۵. بررسی و ریشه‌یابی علل سوانح هوایی و اجرای دستورالعمل ارزیابی ریسک طبق دستورالعمل‌های بین‌المللی (CAD119 کشور).	افزایش ۲ برابری بودجه بررسی سوانح هوایی و کاهش مدت‌زمان مورد نیاز بررسی سوانح هوایی
	۱. افزایش انتقال دانش و تجربه خبرگان کادر پرواز در راستای کاهش اشتباهات در فرایند پرواز.	افزایش دوره‌های انتقال دانش و تجربه خبرگان پرواز و کاهش زمان مورد نیاز انتقال تجربه
	۲. افزایش بهره‌وری دوره‌های آموزشی کادر پروازی.	افزایش ۲۰ درصدی منابع مالی و برگزاری دوره‌های صلاحیت پروازی استاندارد
	۳. افزایش نظارت بر رعایت شرایط آمادگی جسمی و روحی خلبانان برای پرواز.	کاهش ۱۰ درصدی اثر آمادگی جسمی برای پرواز بر اشتباهات خلبان و کاهش ۲۰ درصدی اثر آمادگی روحی و روانی بر اشتباهات خلبان



جدول ۸. سیاست‌های منتخب ترکیبی پیشگیری از سوانح هوایی مبتنی بر ایمنی پرواز

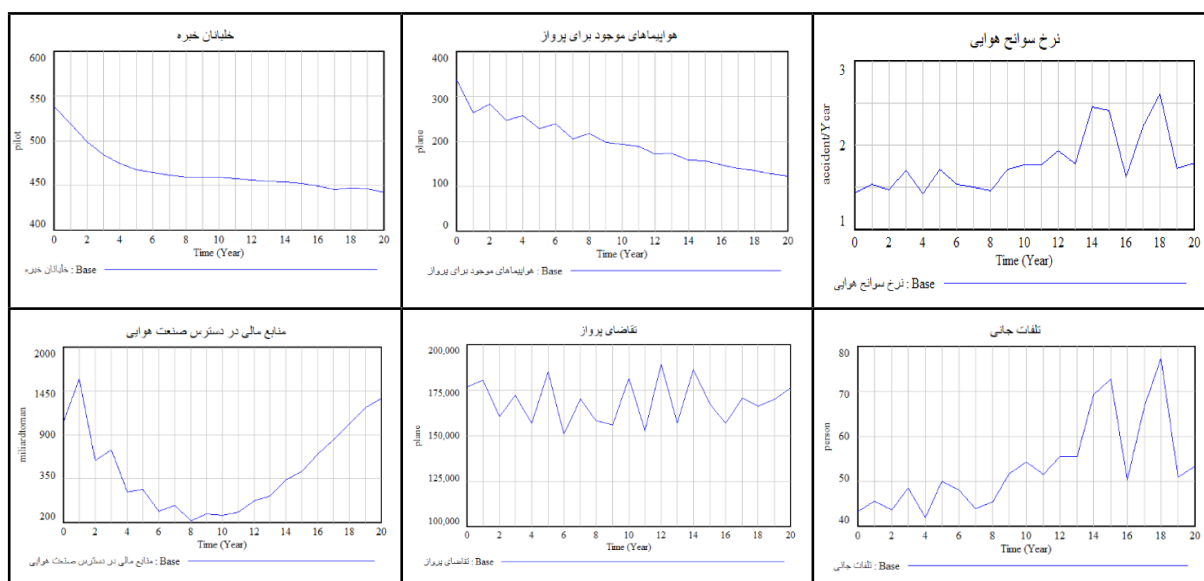
راهبرد	سیاست	تغییرات اعمال شده در مدل
منتخب سیاست‌های ترکیبی	۱. تأمین مالی و تخصیص بودجه به توسعه ناوگان و خرید هواپیمای جدید به‌منظور کاهش ۵۰ درصدی ناوگان فرسوده در طول ۵ سال	افزایش سالیانه مبلغ ۶۰۰۰۰ میلیارد ریال بودجه در طول ۵ سال از طریق ابزارهای تأمین مالی (بورس، فرابورس، جذب سرمایه‌گذار بین‌المللی، جذب سرمایه بخش خصوصی و غیره)
	۲. حمایت از صنایع داخلی دانش‌بنیان ناوگان هوایی کشور و انتقال فناوری‌های پیشرفته به داخل در قراردادهای	اضافه کردن متغیر حمایت از دانش‌بنیان و ایجاد حلقه بازخوردی و در نظر گرفتن ضریب تأثیر بر هزینه‌ها و زمان تعمیر و نگهداری
	۳. متناسب‌سازی استاندارد برنامه‌ریزی پرواز و هواپیماهای در دسترس	افزایش سالیانه ۵ درصد هواپیماهای خارج از رده در طول ۵ سال باتوجه‌به نوسازی ناوگان
	۴. افزایش نظارت بر کیفیت اجرای برنامه‌ریزی پروازها طبق استانداردهای بین‌المللی	کاهش سالیانه ۵ درصد اشتباهات خلبانان
	۵. تخصیص منابع مالی توسعه ناوگان هوانوردی به توسعه تجهیزات ایمنی پرواز	افزایش سالیانه مبلغ ۵۰۰۰ میلیارد ریال بودجه در طول ۵ سال به‌منظور تأمین مالی توسعه تجهیزات ایمنی هوانوردی
	۶. بررسی و ریشه‌یابی علل سوانح هوایی و اجرای دستورالعمل ارزیابی ریسک طبق دستورالعمل‌های بین‌المللی (CAD1119 کشوری).	افزایش ۲ برابری بودجه بررسی سوانح هوایی و کاهش مدت‌زمان موردنیاز بررسی سوانح هوایی
	۷. افزایش بهره‌وری دوره‌های آموزش عالی هوانوردی و توسعه صلاحیت کارکنان پروازی	افزایش ۲۰ درصدی منابع مالی آموزش عالی هوانوردی و افزایش برگزاری دوره‌های صلاحیت پروازی استاندارد
	۸. افزایش نظارت بر رعایت شرایط آمادگی جسمی و روحی خلبانان برای پرواز	کاهش ۱۰ اثر آمادگی جسمی برای پرواز بر اشتباهات خلبان و کاهش ۲۰ درصدی آمادگی روحی و روانی بر اشتباهات خلبان

بحث

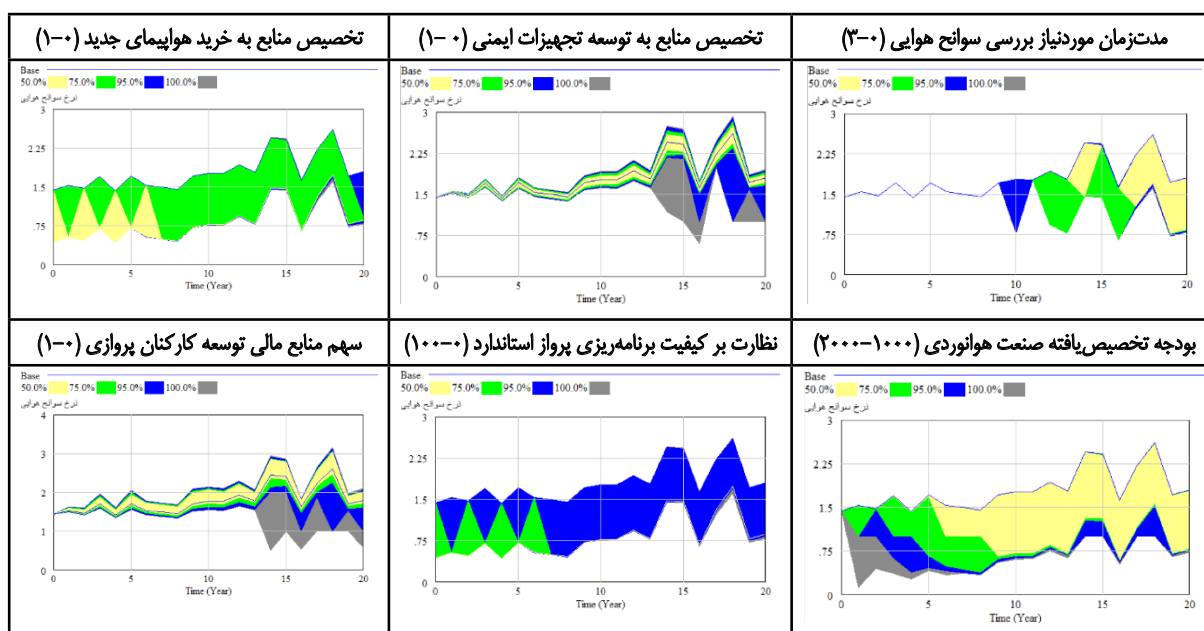
در سال‌های اخیر، مسئله پیشگیری از سوانح هوایی موردتوجه گسترده‌ای در سطح جهانی قرار گرفته است. با این حال و علی‌رغم تلاش‌های مضاعف، نظارت و کنترل فراوان بر تمامی اقدامات پرواز و صرف منابع مالی قابل‌ملاحظه‌ای تحت عنوان نوسازی ناوگان هوایی و ارتقای استانداردهای لازم کماکان شاهد سوانح هوایی متعددی هستیم. باتوجه‌به اینکه هزینه‌های پیشگیری اعم از اقتصادی، اجتماعی و سیاسی بسیار کمتر است، همواره باید در راستای برنامه‌ریزی و پیاده‌سازی اقدامات و سیاست‌های راهبردی مؤثر جهت پیشگیری از سوانح اقدام کرد. برای این منظور ابتدا مدل پویایی سیستم سوانح هوایی با مشارکت سیاست‌گذاران، کارشناسان و خبرگان حوزه هوانوردی و منابع مطالعاتی طراحی شد. پس از اعتبارسنجی، مدل در افق ۲۰ ساله شبیه‌سازی و باتوجه‌به نتایج تحلیل حساسیت مونت‌کارلو، سیاست‌های پیشگیری از سوانح هوایی مبتنی بر ۳ راهبرد توسعه ناوگان هوایی کشور، استانداردسازی و ارتقای ایمنی پرواز و توسعه صلاحیت پروازی خلبانان با مشارکت برنامه‌ریزان و خبرگان صنعت هوانوردی کشور شناسایی شد. سیاست‌های هر راهبرد به‌طور جداگانه بر روی مدل، اعمال و نتایج مقایسه شد. در ادامه منتخبی از سیاست‌های ترکیبی در قالب راهبرد ترکیبی در نظر گرفته شد و در نهایت پیشنهادهای کاربردی پژوهش مبنی بر سیاست‌های ترکیبی منتخب مدل پویایی سیستم پیشگیری از سوانح هوایی کشور مبتنی بر ایمنی پرواز به‌طور کلی به شرح زیر شناسایی شد:

بودجه اختصاص‌یافته و منابع مالی بیشترین بهبود شناسایی شود. به‌طوری‌که ابتدا کلیه سیاست‌ها بر روی مدل اعمال شد و با کاهش هریک باتوجه‌به بودجه و میزان تأثیرگذاری، ترکیب منتخب شناسایی شد. **جدول شماره ۸** سیاست منتخب ترکیبی سوانح هوایی را ارائه کرده است. پس از اعمال سیاست‌های منتخب رفتار متغیرهای کلیدی مدل مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت. **تصویر شماره ۷** رفتار متغیرهای مدل را تحت اعمال سیاست‌های منتخب ترکیبی ارائه کرده است.

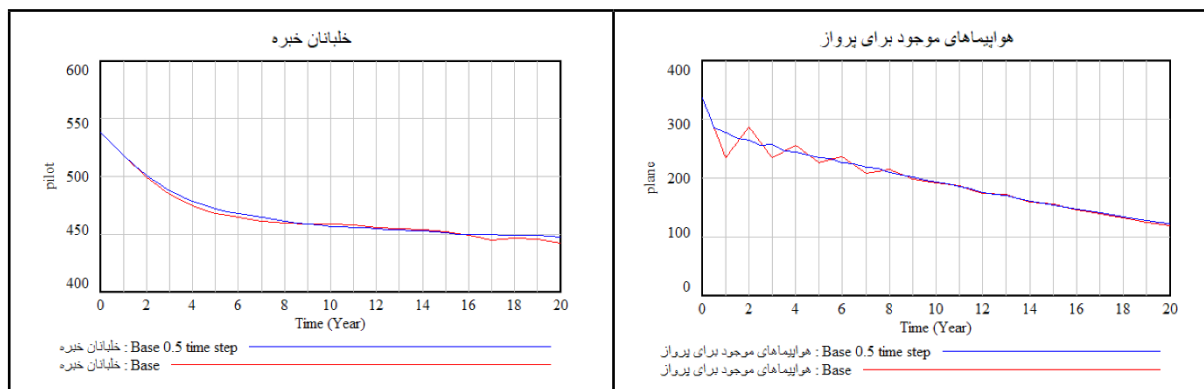
همان‌طور که در **تصویر شماره ۸** مشاهده می‌شود با اعمال سیاست‌های ترکیبی، باتوجه‌به سرمایه‌گذاری و تأمین مالی صنعت هوانوردی و سیاست‌های اعمالی ارتقای ایمنی پرواز، تعداد سوانح هوایی به‌طور قابل توجهی در بلندمدت کاهش یافته و روند صعودی آن با شیب کمتری است. با کاهش نرخ سوانح هوایی تلفات جانی نیز کاهش یافته است. باتوجه‌به استانداردسازی برنامه‌ریزی پروازها و کاهش فشار سلسله‌مراتبی مدیریت و افزایش نظارت بر برنامه‌ریزی پروازها و نیز افزایش بهره‌وری دوره‌های توسعه صلاحیت پروازی خلبانان، تعداد خلبانان خبره تا سطح مطلوبی به‌صورت پایدار قرار گرفته است. هواپیماهای موجود نیز باتوجه‌به نوسازی و بازسازی ناوگان هوانوردی کشور جایگزین هواپیماهای فرسوده شده‌اند و بر این مبنا در تعداد هواپیمای موجود برای پرواز تغییر چشم‌گیری حاصل نشده است. رفتار متغیر منابع مالی نیز نشان می‌دهد پس از گذشت حدود ۶ سال از صرف منابع مالی، مسئله جبران فرسودگی ناوگان و ارتقای ایمنی، از حالت نزولی به حالت صعودی تغییر یافته و به‌صورت نوسانی مسیر بهبود را طی خواهد کرد.



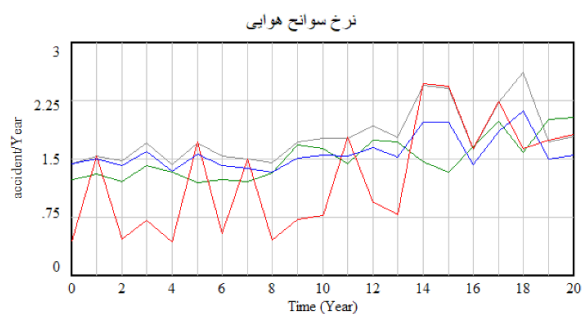
تصویر ۵. رفتار متغیرهای مدل در افق شبیه‌سازی مدل پویایی سیستم مدیریت بحران سوانح هوایی



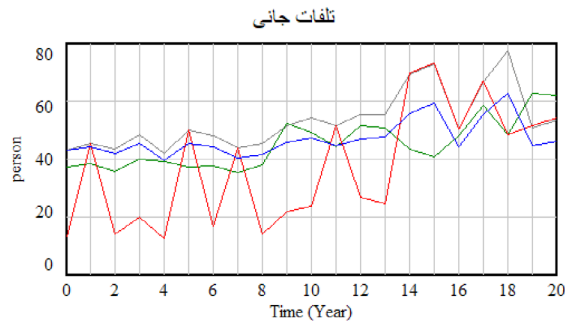
تصویر ۶. نتایج تحلیل حساسیت مونت کارلو متغیرهای برون‌زای مدل پویایی سیستم سوانح هوایی



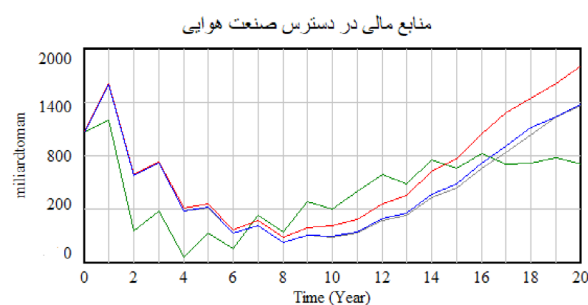
تصویر ۷. نتایج آزمون خطای انتگرال‌گیری مدل پویایی سیستم مدیریت بحران سوانح هوایی با تغییر گام از زمانی ۱ سال به نیمسال



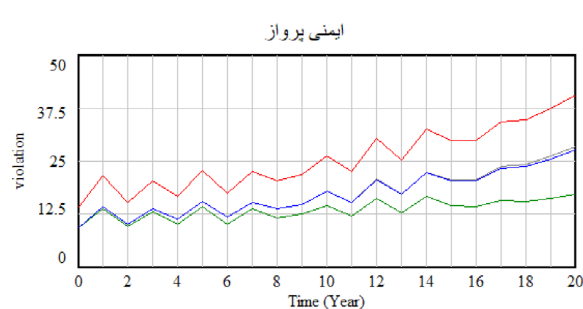
Strategy 03 : نرخ سوانح هوایی
Strategy 02 : نرخ سوانح هوایی
Strategy 01 : نرخ سوانح هوایی
Base : نرخ سوانح هوایی



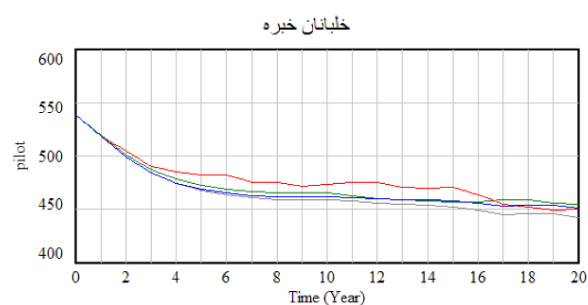
Strategy 03 : تلفات جانی
Strategy 02 : تلفات جانی
Strategy 01 : تلفات جانی
Base : تلفات جانی



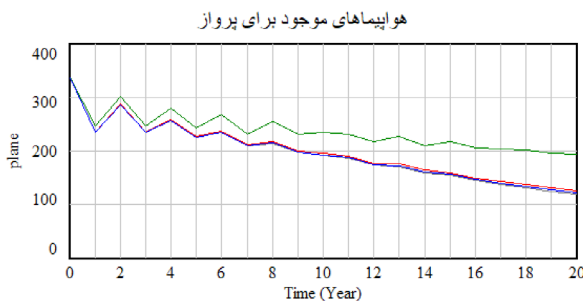
Strategy 03 : منابع مالی در دسترس صنعت هوایی
Strategy 02 : منابع مالی در دسترس صنعت هوایی
Strategy 01 : منابع مالی در دسترس صنعت هوایی
Base : منابع مالی در دسترس صنعت هوایی



Strategy 03 : ایمنی پرواز
Strategy 02 : ایمنی پرواز
Strategy 01 : ایمنی پرواز
Base : ایمنی پرواز



Strategy 03 : خلبانان خیره
Strategy 02 : خلبانان خیره
Strategy 01 : خلبانان خیره
Base : خلبانان خیره



Strategy 03 : هواپیماهای موجود برای پرواز
Strategy 02 : هواپیماهای موجود برای پرواز
Strategy 01 : هواپیماهای موجود برای پرواز
Base : هواپیماهای موجود برای پرواز

تصویر ۷. مقایسه رفتار متغیرهای کلیدی مدل تحت اعمال سیاست‌های ۳ راهبردی پیشگیری از سوانح هوایی

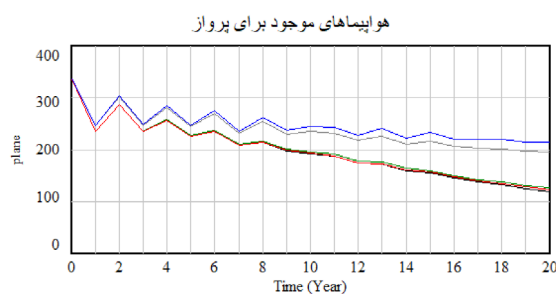
قراردادهای خرید و تأمین خارجی انواع هواپیماها.

افزایش بهره‌وری دوره‌های آموزش عالی هوانوردی و توسعه صلاحیت کارکنان پروازی. تشکیل و به‌روزرسانی بانک اطلاعاتی به‌منظور نیازسنجی نیروی انسانی: صنعت هوانوردی و رشته خلبانی علاقه‌مندان متعددی دارد، بنابراین به‌منظور جذب و گزینش مناسب از میان خلبانان مستعد باید بانک اطلاعاتی مناسبی تهیه و تدوین و برنامه‌ریزی مناسبی جهت تکمیل نیروی انسانی شود.

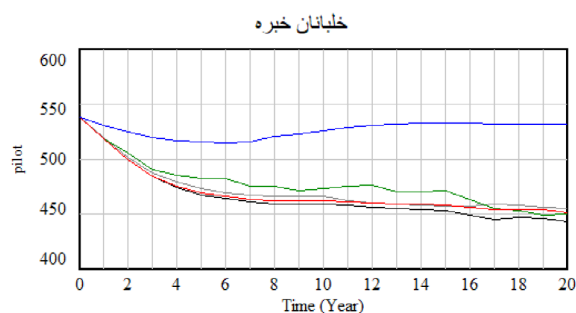
توسعه صلاحیت پروازی با برگزاری کلاس‌های آموزشی، همایش‌های هم‌افزایی و همکاری داخلی، بین‌المللی و اعزام به دوره‌های خارجی معتبر و نیز افزایش نظارت بر رعایت شرایط

فرایند بودجه‌ریزی و تأمین منابع مالی: سیاست‌گذاری و لحاظ کردن تدابیر لازم با مشارکت دستگاه‌های ذی‌ربط برای تأمین منابع مالی لازم جهت توسعه و تقویت صنعت و ناوگان هوایی از طریق ابزارهای تأمین مالی و ارائه بخشی از سهام شرکت‌ها به‌صورت عام در فرابورس و ترغیب به سرمایه‌گذاری خارجی و داخلی در بخش هوایی و حمایت از صنایع داخلی دانش‌بنیان ناوگان هوایی کشور.

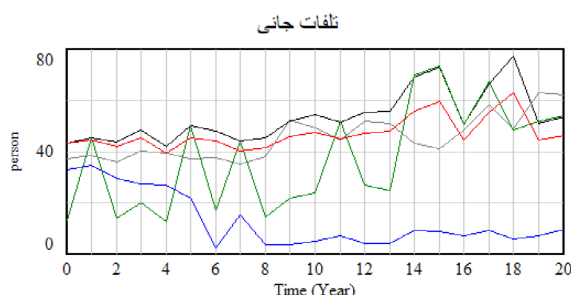
حمایت از صنایع داخلی دانش‌بنیان ناوگان هوایی کشور و انتقال فناوری‌های پیشرفته به داخل در قراردادهای و تدابیر لازم جهت انجام خدمات تغییرات جزئی و اساسی ناوگان هوایی کشور با محوریت صنایع داخلی و لحاظ کردن آن در



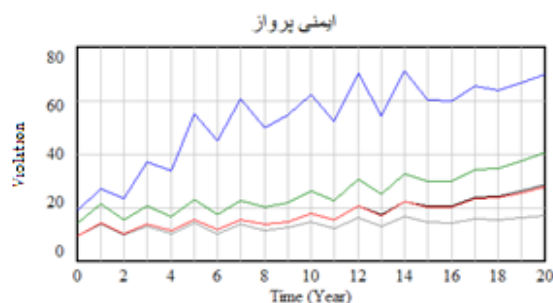
Hybrid Policies : هواپیماهای موجود برای پرواز
Strategy 03 : هواپیماهای موجود برای پرواز
Strategy 02 : هواپیماهای موجود برای پرواز
Strategy 01 : هواپیماهای موجود برای پرواز
Base : هواپیماهای موجود برای پرواز



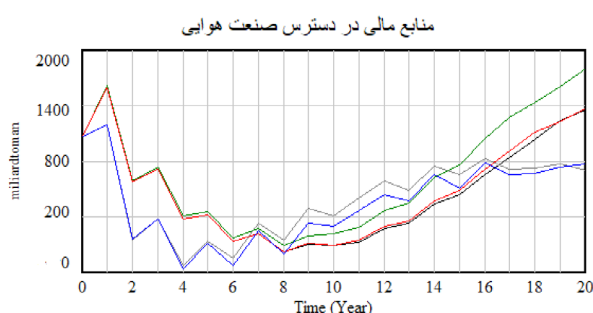
Hybrid Policies : خلبانان خبره
Strategy 03 : خلبانان خبره
Strategy 02 : خلبانان خبره
Strategy 01 : خلبانان خبره
Base : خلبانان خبره



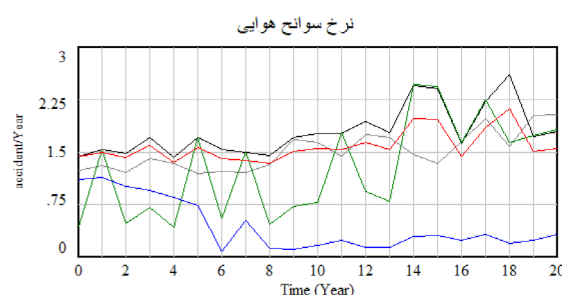
Hybrid Policies : تلفات جانی
Strategy 03 : تلفات جانی
Strategy 02 : تلفات جانی
Strategy 01 : تلفات جانی
Base : تلفات جانی



Hybrid Policies : ایمنی پرواز
Strategy 03 : ایمنی پرواز
Strategy 02 : ایمنی پرواز
Strategy 01 : ایمنی پرواز
Base : ایمنی پرواز



Hybrid Policies : منابع مالی در دسترس صنعت هوایی
Strategy 03 : منابع مالی در دسترس صنعت هوایی
Strategy 02 : منابع مالی در دسترس صنعت هوایی
Strategy 01 : منابع مالی در دسترس صنعت هوایی
Base : منابع مالی در دسترس صنعت هوایی



Hybrid Policies : نرخ سوانح هوایی
Strategy 03 : نرخ سوانح هوایی
Strategy 02 : نرخ سوانح هوایی
Strategy 01 : نرخ سوانح هوایی
Base : نرخ سوانح هوایی

تصویر ۸. رفتار متغیرهای کلیدی مدل تحت اعمال سیاست‌های منتخب ترکیبی پیشگیری از سوانح هوایی

بین‌المللی و استانداردهای ایمنی، حداقل استاندارد لازم جهت پرواز به بازنگری و به‌روزرسانی نیاز دارد.

نتیجه‌گیری

مدل پیشنهادی کاربردی از پویایی‌شناسی سیستم مدیریت بحران سوانح هوایی به‌منظور توسعه ابزار سیاست‌گذاری پیشگیری از سوانح هوایی، مبتنی بر ارتقای ایمنی پرواز است و کارایی آن باتوجه‌به داده‌های سازمان هواپیمایی کشوری و ایکائو نشان داده شده است.

در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود مدل حاضر مبتنی بر مدیریت ریسک مخاطرات آب و هواشناسی نظیر وضعیت جوی،

آمدگی جسمی و روحی خلبانان برای پرواز به‌منظور افزایش صلاحیت پروازی.

بررسی و ریشه‌یابی علل سوانح هوایی و اجرای دستورالعمل ارزیابی ریسک طبق دستورالعمل‌های بین‌المللی (CAD1119 کشوری)، تشکیل کارگروه‌های تخصصی بررسی سوانح به‌منظور بررسی داده‌های مرتبط و تهیه گزارشات نهایی، گزارش کامل و دقیق علل و چگونگی رخ دادن سوانح گذشته می‌تواند در بازدارندگی از سوانح آتی مؤثر باشد.

افزایش نظارت بر کیفیت اجرای برنامه‌ریزی پروازها طبق استانداردهای بین‌المللی و انجام تحقیقات و مطالعات لازم به‌منظور تغییر یا بازنگری استانداردها، قوانین و مقررات



دما، وزش باد و غیره توسعه یابد و سیاست‌های پیشگیری از سوانح باتوجه‌به این ابعاد موردبررسی قرار گیرد. همچنین باتوجه‌به مطالعات سیستمی ناکافی در حوزه سیاست‌گذاری صنعت هوانوردی کشور پیشنهاد می‌شود عوامل مصنوعی نظیر باز یا بسته بودن مسیرهای پروازی، روز یا شب بودن زمان پرواز، مناطق نظامی یا ممنوعه در مسیر پرواز، توپوگرافی اطراف فرودگاه، محیط داخلی و غیره نیز مورد بررسی قرار گیرد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این مقاله نمونه‌های انسانی و حیوانی نداشته است. براین اساس نیاز به کد اخلاق نبود و تمام قوانین اخلاق در پژوهش رعایت شده است.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت‌نویسندگان

مفهوم‌سازی، اعتبارسنجی، تحلیل و نظارت: احمد احمدوند؛ بررسی، روش‌شناسی، نگارش نسخه اولیه: مصطفی مرادی؛ روش‌شناسی، اعتبارسنجی، تحلیل و ویرایش نهایی: مرضیه صمدی‌فروشانی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

از همکاری کلیه مشارکت‌کنندگان پژوهش در دانشگاه هوایی علوم و فنون شهید ستاری و حمایت و پشتیبانی سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران قدردانی می‌شود.

References

- Abdel-Latif, A., Saad-Eldien, A., & Marzouk, M. (2023). System dynamics applications in crisis management: A literature review. *Journal of Simulation*, 17(6), 800-817. [DOI:10.1080/17477778.2022.2088306]
- Al-Qassar, A. A., Al-Obaidi, A. S. M., Hasan, A. F., Humaidi, A. J., Nasser, A. R., & Alkhayyat, A., et al. (2021). Finite-time control of wing-rock motion for delta wing aircraft based on whale-optimization algorithm. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 6(3), 441-456. [DOI:10.17509/ijost.v6i3.37922]
- Borjalilu, N., Ghaderi, F., & Heydari, J. (2023). [Flightsafety criteria to assess the safety performance of cockpit crew (Persian)]. *Journal of Aeronautical Engineering*, 25(2), 142-154. [Link]
- Chai, Y., Gao, W., Ankay, B., Li, F., & Zhang, C. (2021). Aeroelastic analysis and flutter control of wings and panels: A review. *International Journal of Mechanical System Dynamics*, 1(1), 5-34. [DOI:10.1002/msd2.12015]
- de Sant, D. A. L. M., & de Hilal, A. V. G. (2021). The impact of human factors on pilots' safety behavior in offshore aviation companies: A brazilian case. *Safety Science*, 140, 105272. [DOI:10.1016/j.ssci.2021.105272]
- Ebrahimi, A., & Najafi, A. (2015). [Offering the model based on system dynamics for improvement of flight safety (Persian)]. *Journal of Aeronautical Engineering*, 17(2), 44-56. [Link]
- Civil Aviation Authority. (2023). [Statistical yearbook (Persian)]. Tehran: Civil Aviation Authority.
- Ghasemi, S., Amin, R., & Khodaii, A. (2024). [A review study on the effects of human error in aviation accidents (Persian)]. *Civil and Project*, 5(10), 47-59. [DOI:10.22034/cpj.2023.431272.1239]
- Göker, Ü. D., Yazici, M., Balci, G., Köksal, Ö., & Şengelen, H. E. (2021). The statistical analysis of air crash investigations from 1918 to 2019. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 2(40), 1-32. [DOI:10.17134/khosbd.1000317]
- Guida, M., Lamanna, G., Marulo, F., & Caputo, F. (2022). Review on the design of an aircraft crashworthy passenger seat. *Progress in Aerospace Sciences*, 129, 100785. [DOI:10.1016/j.paerosci.2021.100785]
- Harizi, R., Belhaiza, M. A., & Harizi, B. (2013). A cliometric analysis of the explanatory factors of the air crashes in the world (1950-2008). *Journal of Transportation Safety & Security*, 5(2), 165-185. [DOI:10.1080/19439962.2012.749968]
- International Air Transport Association. (2023). [Aviation Safety Network Report (Persian)]. Montreal: International Air Transport Association.
- Julian, K. D., Kochenderfer, M. J., & Owen, M. P. (2019). Deep neural network compression for aircraft collision avoidance systems. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 42(3), 598-608. [DOI:10.2514/1.G003724]
- Kelly, D., & Efthymiou, M. (2019). An analysis of human factors in fifty controlled flight into terrain aviation accidents from 2007 to 2017. *Journal of Safety Research*, 69, 155-165. [DOI:10.1016/j.jsr.2019.03.009]
- Kharoufah, H., Murray, J., Baxter, G., & Wild, G. (2018). A review of human factors causations in commercial air transport accidents and incidents: From 2000-2016. *Progress in Aerospace Sciences*, 99, 1-13. [DOI:10.1016/j.paerosci.2018.03.002]
- Yilmaz, A. (2019). Strategic approach to managing human factors risk in aircraft maintenance organization: Risk mapping. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 91(4), 654-668. [DOI:10.1108/AEAT-06-2018-0160]
- Lenné, M. G., Ashby, K., & Fitzharris, M. (2008). Analysis of general aviation crashes in Australia using the human factors analysis and classification system. *The International Journal of Aviation Psychology*, 18(4), 340-352. [DOI:10.1080/10508410802346939]
- Meyer Jr, V., Cunha, M. P. E., Mamédio, D. F., & Nogueira, D. P. (2021). Crisis management in high-reliability organizations: lessons from Brazilian air disasters. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 30(2), 209-224. [DOI:10.1108/DPM-08-2019-0245]
- Moradi, M., & Zarghami, H. R. (2023). [Identifying and prioritizing anthropometric characteristics for enhancing performance of pilots in Aircraft Cockpit (Persian)]. *Journal of Aeronautical Engineering*, 25(1), 28-39. [Link]
- Moradi, M., Roudbari, A., Zarghami, H. R., & lotfei, H. (2021). [A framework for determining pilots' priorities using antropometric characteristics (Persian)]. *Journal of Aeronautical Engineering*, 23(1), 18-32. [DOI:10.22034/joae.2021.139462]
- Nosrati Malekjahan, A., Husseinzadeh Kashan, A., & Ostadi, B. (2023). [Analysis of Iran's civil aviation accidents and serious incidents from 1979 to 2021 using failure mode and effects analysis and multi-attribute decision making methods (Persian)]. *Journal of Aeronautical Engineering*, 25(1), 154-180. [Link]
- Peng, Q., Wu, H., Zhang, R. F., & Fang, Q. (2021). Numerical simulations of base-isolated LNG storage tanks subjected to large commercial aircraft crash. *Thin-Walled Structures*, 163, 107660. [DOI:10.1016/j.tws.2021.107660]
- Raei, J., Zarghami, H. R., & Zand, A. A. (2021). [Analysis of I.R.I.A. A aviation accidents from 1989 to 2019 using data mining tools (Persian)]. *Military Science and Tactics*, 17(56), 29-50. [DOI:10.22034/qjms.2021.136988.1446]
- Shepherd, S. P. (2014). A review of system dynamics models applied in transportation. *Transportmetrica B: Transport Dynamics*, 2(2), 83-105. [DOI:10.1080/21680566.2014.916236]
- Sterman, J. (2002). *System Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Massachusetts Institute of Technology Engineering Systems Division. [Link]
- Wu, Y., Zhang, S., Zhang, X., Lu, Y., & Xiong, Z. (2023). Analysis on coupling dynamic effect of human errors in aviation safety. *Accident Analysis & Prevention*, 192, 107277. [DOI:10.1016/j.aap.2023.107277]
- Yahyavi, M., Toloie Eshlaghi, A., Afsharkazemi, M. A., & Radfar, R. (2024). [Designing an intelligent model to optimize the safety risk of the takeoff flight using BIM-LSTM (Persian)]. *Journal of Investment Knowledge*, 13(52), 895-910. [Link]
- Zaim, S., Bayyurt, N., Tarim, M., Zaim, H., & Guc, Y. (2013). System dynamics modeling of a knowledge management process: A case study in Turkish Airlines. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 99, 545-552. [DOI:10.1016/j.sbspro.2013.10.524]