نشریه علمی- پژوهشی مهندسی هوانوردی
سال هفدهم، شماره اول، بهار و تابستان ۹۴

طراحی سیستم مدیریت پرواز در شرایط اضطراری

اسدی، داود[1*] ، مهردوست، علیرضا[2]

۱- دانشکده مهندسی هوافضا- دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات
۲- دانشکده مهندسی هوافضا- دانشگاه هوایی شهید ستاری
(دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۰)

چکیده

سیستم‌های مدیریت پرواز در هواپیماهای امروزی بر اساس جداول استاندارد هواپیما و مشاهده وضعیت عملکردی به خلبان در امر هدایت وکنترل و مدیریت طرح‌های پروازی در طول پرواز کمک می‌کنند به گونه‌ای که فشار کاری خلبان به شدت کاهش یابد. برخلاف پیشرفت چشم‌گیر در سیستم‌ها و تجهیزات مدرن هوانوردی، چک‌های منظم و استفاده از افزونگی چندگانه امکان روی‌داد نقص در تمامی سیستم‌ها وجود دارد. با توجه به تغییرات ایجاد شده در هواپیما در شرایط اضطراری و چالش‌های پیش‌روی خلبان برای تصمیم‌گیری سریع و نیاز به انتخاب و نشست ایمن در محل پیش‌بینی نشده، سیستم مدیریت پرواز باید نسبت به وضعیت کنونی ارتقا یابد تا بتواند در شرایط اضطراری در نشست ایمن به خلبان کمک نماید. برهمین اساس در این مقاله سیستم مدیریت پرواز در شرایط اضطراری جهت پوشش چالش‌های خلبان، ارتباط موثر بین خلبان و سیستم اتوماتیک و افزایش ایمنی پرواز معرفی می‌شود. در طرح پیشنهادی زیر سیستم‌ها و قسمت‌های مختلفی همچون زیرسیستم شناسایی، آشکارسازی سلامت سازه، کنترلر، تولید مسیر، بانک اطلاعات محیطی، پاکت پروازی هواپیما، پنل رابط خلبان و ... مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مقاله الگوریتم انتخاب محل نشست و طراحی پنل ارتباط خلبان با دیگر سیستم اتوماتیک به عنوان زیر سیستم‌های غیر قابل اجتناب در سیستم مدیریت پرواز در شرایط اضطرای معرفی و ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *هواپیمای آسیب‌دیده پاکت‌پروازی، شرایط تریم، نشست ایمن*

Flight Management System design for Emergency Conditions

Abstract

Flight Management Systems (FMS) in today’s airplanes help the pilot in guidance, control and handling flight plans based on standard tables and performance monitoring in order to reduce the pilot work load during flight. Despite great advances, modern avionics, regular checks and using multiple redundancies in vital systems, the possibility of fault or failure occurrence still exist. Considering the changes in airplane in emergency conditions and pilot challenges for fast decision making and choosing a safe landing site, the FMS must enhance to help the pilot in emergency conditions. Accordingly, the emergency FMS is introduced in this paper to cover the pilots’ challenges in emergency, effective communication between the pilot and the automatic system and therefore to improve the flight safety. The proposed FMS include different parts and subsystems like identification, structural health monitoring, controller, trajectory generation, environment database, flight envelope, pilot interface; etc. in addition, a novel landing site selection algorithm and a pilot interface are introduced as an inevitable subsystems in emergency flight management system.

Keywords: *Flight management system, emergency, interface, Safe landing*

* نویسنده پاسخگو، تلفن:۰۹۱۲۵۲۰۷۷۵۲، پست الکترونیکی:davoodasadi@srbiau.ac.ir

مقدمه

مهمترین ویژگی صنعت هوانوردی مدرن، ایمنی بالا و حمل و نقل مطمئن است. اگرچه استفاده از تجهیزات هوانوردی مدرن، خلبان خودکار، سیستم محافظت از پوش (پاکت) پروازی[1]، انواع هشداردهنده‌ها داخل کابین، افزونگی چندگانه[2] در سیستم‌های حیاتی، سیستم مدیریت پرواز[3]، آموزش انواع سناریوهای شرایط اضطراری به خلبان و چک‌های منظم هواپیما قبل و بعد از پرواز، احتمال وقوع حوادث ناشی از عیب یا آسیب را کاهش داده است، اما همچنان سوانح هوایی سالانه جان انسان‌های زیادی را می‌گیرد [۱]. شرایط اضطراری ممکن است در اثر وجود آتش روی هواپیما، نشت هیدرولیک یا بنزین، ایراد در موتور یا یکی از سیستم‌های حیاتی یا آسیب سازه‌ای رخ دهد.

امروزه سیستم‌های مدیریت پرواز، هواپیما را از لحظه بلند شدن تا لحظه نشست در نقاط نامی که از قبل معرفی می‌شوند، کنترل می‌نمایند [۲]. سیستم مدیریت پرواز، هواپیما را از نقطه مبدأ تا مقصد از طریق مجموعه‌ای از متغیرهای سرعت، زاویه مسیر و ارتفاع هدایت می‌کند که از این طریق بارکاری خلبان به شدت کاهش می‌یابد. اما با توجه به اینکه سیستم‌های مدیریت پرواز در هواپیماهای امروزی بر اساس جداول استاندارد و عملکرد نامی هواپیما کار می‌کنند، در شرایط اضطراری به خصوص شرایطی که باعث تغییر عملکرد هواپیما می‌شود کارایی چندانی ندارد [۳].

در مرجع [۴] عوامل تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری خلبان در شرایط اضطراری تبیین شده است. زمان مورد نیاز برای تصمیم‌گیری، شناخت محیط عملیاتی، شناخت نقص یا آسیب و درک تأثیر آن بر روی هواپیما [۵]، فاز پروازی که حالت اضطراری در آن رخ داده است (صعود، فرود و ...)، نوع سانحه (آسیب سازه‌ای، نشت هیدرولیک، آتش‌سوزی، ...)، تعداد فعالیت‌هایی که خلبان برای تکمیل طرح مورد نظر باید انجام دهد و میزان استرس القا شده به خلبان از جمله عواملی است که بر تصمیم‌گیری صحیح خلبان در شرایط اضطراری تاثیر می‌گذارد.

نوع سانحه به دو دسته سوانح تغییر دهنده عملکرد هواپیما (از دست دادن موتور، آسیب سازه‌ای و ...) و سوانحی که عملکرد را تغییر نمی‌دهند (آتش‌گرفتگی یا دود و ...)، تقسیم می‌شوند.

استرس به شدت بر روی تصمیم خلبان تأثیرگذار است. استرس می‌تواند به صورت فیزیکی (مثل دود در کابین) و یا به صورت روانی (ترس از سقوط و مرگ) نمود یابد. استرس باعث می‌شود که خلبان فرصت مقایسه‌ی گزینه‌های دیگر را از دست بدهد و بر روی یک گزینه متمرکز شود. علاوه بر این می‌تواند سرعت عمل پردازش خلبان را بالا برده و منجر به افزایش خطا گردد. پدیده دیگری که ممکن است در اثر استرس ایجاد شود که اصطلاحاً به پدیده فیلتراسیون موسوم است حذف مقداری از اطلاعات مؤثر در تصمیم‌گیری توسط خلبان از قسمت‌های مختلف است، به گونه‌ای که آن اطلاعات در تصمیم‌گیری در نظر گرفته نشود [۴].

مسئولیت تکمیل یک پرواز ایمن بر عهده‌ی خلبان است. در طول شرایط اضطراری، این وظایف و مسئولیت‌ها می‌تواند خیلی سخت، طاقت‌فرسا و چالش برانگیز باشد؛ چراکه فاکتورها و وظایف زیادی هستند که خلبان باید به آن‌ها توجه کند. این وظایف شامل کشف و بررسی خطا در هواپیما و سیستم‌های هواپیما، مشاهده سلامت هواپیما، هماهنگ شدن با خدمه‌ی پرواز و برج مراقبت، کنترل‌کردن هواپیما و تصمیم‌گیری روی یک سری از امور که منجر به یک نشست ایمن می‌شود. حال تمامی این سختی‌ها که از ویژگی‌های ذاتی شرایط اضطراری است، با عوامل استرس‌زا، حجم زیادی از اطلاعات که باید در نظرگرفته شود و در زمان کمی براساس آن‌ها تصمیم‌گیری شود و ... ترکیب می‌شود. به عبارت دیگر خلبان باید در زمان کمی با توجه به قرار گرفتن در شرایط اضطراری، حجم زیادی از اطلاعات سیستم‌های مختلف را در کمترین زمان دریافت، پردازش و سپس براساس آن‌ها تصمیم‌گیری نماید. علاوه بر این ممکن است که عملکرد و خوش دستی هواپیما نیز افت کرده باشد (آسیب سازه‌ای) و محدودیت هایی را از نظر عملکردی بر خلبان اعمال نماید [۶].

در واقع، مدیریت شرایط اضطراری توسط خلبان علاوه بر نیاز به مهارت و تجربه بالای خلبان، نیاز به درک دقیق خلبان از پاکت پروازی جدید و بررسی پارامترها و شرایط مختلف پروازی دارد که البته سپردن این فرایند به خلبان در چنین شرایطی با در نظر گرفتن عوامل استرس و بار کاری بالای خلبان و نیاز به عکس‌العمل سریع برای کنترل و هدایت مناسب و ایمن، غیرمنطقی است [۷].

با توجه به امکان بازیابی هواپیما در تحلیل‌های پس از سوانح [۴] و همچنین بررسی عوامل موثر بر تصمیم‌گیری خلبان در شرایط اضطراری و نیاز به عکس‌العمل سریع و عدم کارایی مفید

سیستم مدیریت پرواز کنونی در شرایط اضطراری، وجود یک سیستم اتوماتیک هوشمند در داخل کابین که بتواند به خلبان در تصمیم‌گیری و انتخاب سریع کمک نماید و هواپیما را به محل نشست مناسب هدایت و کنترل نماید، ضروری است. برهمین اساس درسال‌های اخیر محققان به سمت ارائه این مهم متمایل شده‌اند که بتواند به تصمیم‌گیری خلبان درشرایط اضطراری کمک نماید. مرجع [۸ و ۹] یک روش کلی اتوماتیک برای تولید مسیر پرواز پس از رویداد نقص (آسیب‌بال، از دست دادن موتور) به محل نشست مناسب ارائه می‌دهد. در مرجع [۱۰] مشابه با مرجع [۱۱]، طراحی مسیر برای یک هواپیما با آسیب سازه‌ای انجام می‌شود. در این دو مرجع اگرچه به لزوم وجود سیستم مدیریت در شرایط اضطراری اشاره شده است اما در مورد ساختار و جزئیات آن اشاره‌ای نشده است. در مرجع [۹]، هدف طراحی مسیر نشست برای یک هواپیما است که موتورهای خود را از دست داده است. مرجع [۱۲و ۱۳]، نحوه طراحی مسیر نشست در شرایط اضطراری ارائه می‌دهد. در این مرجع با توجه به تعریف ریسک به عنوان تابع هزینه برای هر یک از محل‌های نشست اطراف محل رویداد نقص، باند با کمترین میزان ریسک انتخاب می‌شود. در مرجع [۱۴] نیاز به تعامل بین خلبان و سیستم طرح‌ریزی خودکار درشرایط اضطراری مورد بررسی قرار گرفته‌است.

از جمله نوآوری‌های این مقاله ارائه یک طرح کلی برای طراحی سیستم مدیریت پرواز در شرایط اضطراری است که شامل زیرسیستم‌های غیر قابل اجتناب مانند پاکت پروازی [۵] ، سیستم هدایت (طراحی مسیر) [۱۴]، کنترل، انتخاب محل نشست، رابط خلبان و ... می‌شود. چگونگی ارتباط بین زیر سیستم‌های مختلف و ورودی خروجی زیرسیستم‌ها مشخص و معرفی می‌شود. از دیگر نوآوری‌های دیگر این مقاله طراحی زیر سیستم انتخاب محل نشست و پنل رابط خلبان با سیستم مدیریت پرواز اضطراری می‌باشد. وزن توابع هزینه مختلف در الگوریتم انتخاب محل نشست جدید بر اساس ارزش‌گذاری آماری و نظرسنجی از خلبان‌های خطوط هوایی کشور تعیین شده است. در طرح پیشنهادی در این مقاله یک سیستم ارتباطی بین خلبان و سیستم اتوماتیک پرواز به عنوان رابط خلبان در شرایط اضطرای معرفی می‌شود که خلبان قادر است اطلاعات و هشدارهای لازم در شرایط اضطراری و پیشنهادات سیستم اتوماتیک را از طریق آن دریافت کند و در زمان کم براساس پیشنهادات ارائه شده در رابط خلبان و تجربه و دانش خود، بهترین تصمیم را بگیرد. در این پیشنهاد خلبان قادر است مسیر طرح‌ریزی شده را مشاهده کند و از امکان‌پذیر بودن آن اطمینان حاصل نماید. باندها و محل‌های نشست اطراف محل سانحه، بر روی این سیستم قابل مشاهده است.

در این مقاله ابتدا سیستم مدیریت نشست هواپیماهای کنونی بررسی می‌شود و سپس طرح سیستم مدیریت پرواز در شرایط اضطراری به همراه زیر سیستم‌های درگیر نحوه عملکرد و ارتباط آن‌ها ارائه می‌شود. با توجه به لزوم وجود زیر سیستم انتخاب محل نشست مناسب و پنل رابط[۴] خلبان در طرح پیشنهادی، یک الگوریتم کارآمد برای انتخاب محل نشست ارائه می‌شود. همچنین رابط خلبان به عنوان یک ابزار موثر در کابین جهت ارتباط خلبان با زیرسیستم‌های مختلف طراحی و ارائه می‌شود.

سیستم مدیریت پرواز

این سیستم از دو قسمت اصلی، واحد کامپیوتر و واحد نمایش‌گر (مطابق شکل ۱) تشکیل شده است. سیستم مدیریت پرواز دارای یک پایگاه داده است که شامل عناصر سازنده طرح‌های پروازی و اطلاعاتی همچون نقاط مسیر، خطوط هوایی، فرودگاه‌ها، باندهای پروازی، طرح‌های تقرب به باند و تجهیزات کمک ناوبری رادیویی، داده‌های پروازی، نشان‌دهنده‌های موتور و سوخت و ... می‌شود. طرح‌های پروازی معمولاً بر روی زمین و قبل از پرواز با تایپ یا انتخاب مسیرها از روی داده‌های ذخیره شده مشخص می‌شوند.

شکل ۱- نمونه نمایشگر سیستم مدیریت پرواز .

همچنین اطلاعات دیگری همچون موقعیت مرکز جرم، وزن سوخت، ارتفاع پرواز کروز و ... قبل از پرواز وارد می‌شود. این سیستم از این اطلاعات برای دادن پیشنهادات بهینه عملکردی در پرواز از قبیل سرعت بهینه، سرعت ماکزیمم مداومت، سرعت ماکزیمم برد، زمان رسیدن تا مقصد، ماکزیمم نرخ صعود و نزول، ارتفاع بهینه پروازی استفاده می‌کند[۱۵].

این سیستم که مغز مرکزی هواپیما است با سیستم‌های دیگر شامل کلیه سیستم‌های ناوبری، اتوپیلوت و دسته‌گاز خودکار در ارتباط است. از مهمترین وظایف این سیستم، مدیریت طرح‌های پروازی و پیش‌بینی پروفیل مسیر از نقطه برخاست تا محل نشست است. علاوه بر این خلبان می‌تواند در پرواز به هر دلیل طرح پروازی را اصلاح نماید. پس از اعمال تغییرات بر روی طرح پروازی توسط خدمه پروازی، این سیستم بر روی مسیر اصلاح شده پیش‌بینی مسیر انجام می‌دهد و سپس خدمه پروازی تأثیر این اصلاح را ارزیابی می‌کنند. در بخش پیش‌بینی مسیر محدودیت‌های عملکردی، سوخت، زمان، مسافت، ارتفاع و سرعت در مسیر با توجه به مدل اتمسفر بارگذاری شده بر روی این سیستم، استخراج می‌شود. در صورت رضایت‌بخش بودن آن، مسیر اصلاح‌شده توسط خدمه فعال می‌شود. همچنین اطلاعات موقعیت وسیله بر روی سیستم مدیریت پرواز نشان داده می‌شود. علاوه بر این اطلاعات گرفته شده از سیستم‌های ناوبری مختلف، برای اطمینان از صحت موقعیت وسیله توسط این سیستم جمع‌آوری و مقایسه می‌شود. با توجه به معرفی نقاط مسیر پرواز این سیستم جهت و مسیر مطلوب را محاسبه می‌کند و خلبان به صورت دستی یا خودکار قادر به تعقیب مسیر خواهد بود.

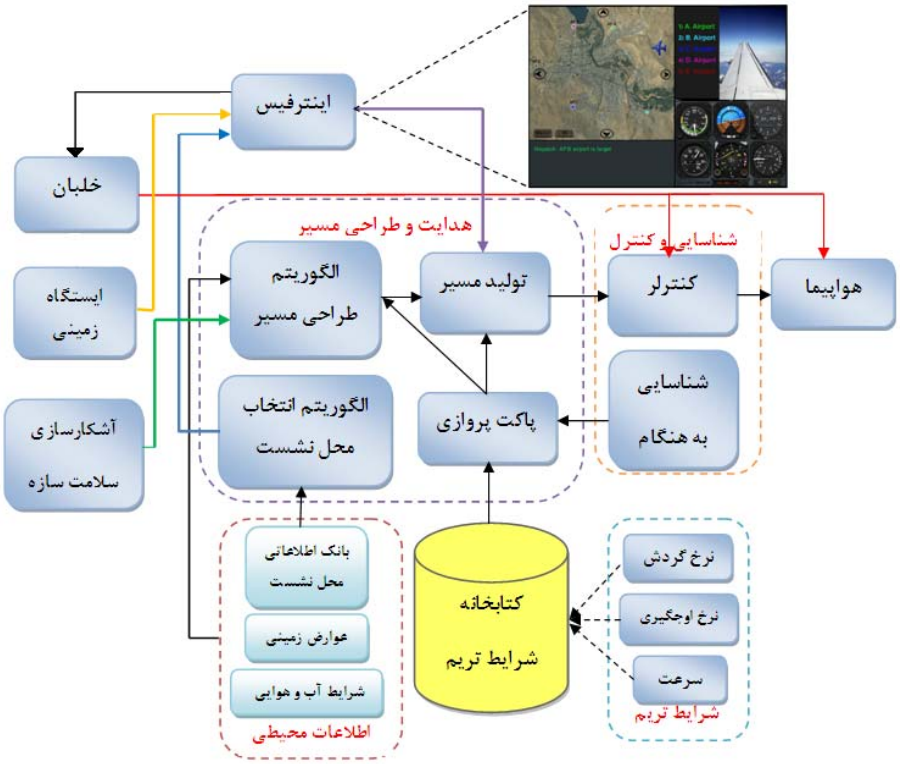
سیستم مدیریت پرواز در شرایط اضطراری

هنگامی که شرایط اضطراری بر روی یک هواپیما رخ می‌دهد انتخاب سریع محل نشست اهمیت به سزایی دارد. یکی از سوانح هوایی که اهمیت این موضوع را بیان می‌کند، سانحه هواپیمایی سوئیس‌ایر است. در پرواز خلبان با دود در کابین مواجه می‌شود و اعلام شرایط اضطراری می‌کند. بعد از چرخش اولیه به سمت بستون، برج پیشنهاد می‌کند که هواپیما به سمت هالی فکس تغییر مسیر دهد بعد از ۴ دقیقه که خلبان نزدیک باند هالی فکس شد متوجه می‌شود که ارتفاع هواپیما بسیار زیاد است و هواپیما نیاز به کاهش ارتفاع دارد. بنابراین خلبان تصمیم به کاهش ارتفاع گرفته و در نزدیکی نواسکوتیا بنزین را تخلیه نماید. در همین زمان آتش در همین زمان گسترش پیدا می‌کند و برخی از سیستم‌های هواپیما را از کار می‌اندازد و منجر به سقوط هواپیما در آب می‌شود در صورتی که خلبان در ابتدا متوجه شده بود که هالی فکس بهترین محل برای نشست است و سپس به سرعت یک مسیر نشست به سمت آن طرح‌ریزی کرده و می‌توانست قبل از اینکه آتش به سیستم های دیگر سرایت کند هواپیما را به سلامت بر روی باند بنشاند.

با توجه به سانحه فوق و بسیاری از سوانح مشابه و با توجه به امکان بازیابی هواپیما در بسیاری از سوانح و عدم کارایی سیستم مدیریت نشست کنونی و با توجه به فشار بالای کاری خلبان در این شرایط، نیاز به یک سیستم اتوماتیک در داخل کابین جهت کمک به خلبان در شرایط اضطراری ضروری به نظر می‌رسد.

نقص یا آسیب در هواپیما می‌تواند منجر به افت شدید عملکرد هواپیما و از دست دادن کنترل هواپیما گردد. برای جلوگیری از اینگونه شرایط، محققان بر روی بهبود سیستم‌های خودکار جهت بازیابی هواپیمای آسیب‌دیده متمرکز شده‌اند. سیستم‌های خودکار می‌توانند با شناخت آسیب یا نقص و تطبیق یافتن با آن به خلبان کمک نمایند. با شناسایی ویژگی‌های عملکردی پس از سانحه می‌توان یک مسیر جدید پروازی با توجه به محدودیت‌های مربوط به ویژگی‌های عملکردی کاهش‌یافته و ویژگی‌های پایداری جدید هواپیما ایجاد کرد [۸]. نشست ایمن هواپیما پس از رویداد نقص یا آسیب با چالش‌های مختلفی روبه‌رو است. اولین چالش نیاز به شناخت پاکت پروزای جدید هواپیما و محدودیت‌های سینماتیک آن است که نیاز به شناسایی هواپیمای آسیب‌دیده و تخمین پاکت‌پروازی بر اساس تأثیر نقص یا آسیب بر روی ویژگی‌های عملکردی و پایداری هواپیما دارد. چالش بعدی هدایت و کنترل ایمن هواپیمای آسیب‌دیده جهت نشست ایمن است. بر همین اساس سیستم مدیریت نشست در شرایط اضطراری جهت پوشش چالش‌های خلبان معرفی می‌شود. مطابق شکل۳، ابتدا زیر سیستم شناسایی به هنگام و آشکارسازی سلامت سازه با استفاده از الگوریتم‌ها و پارامترهای اندازگیری شده از سنسورهای مختلف نصب بر هواپیما، نقص یا ایراد در هواپیما را کشف می‌کند. زیرسیستم کنترل بر اساس شناسایی انجام شده از آسیب، به خلبان کمک می‌کند تا کنترل هواپیما را به دست گیرد.

به خصوص در شرایط آسیب یا ایرادات سازه‌ای، وجود یک کنترلر که پایداری و کنترل اولیه هواپیما را تضمین کند، ضروری است.



شکل ۲- نمونه نمایشگر سیستم مدیریت پرواز .

در همین زمان اطلاعات مربوط به شرایط تریم شامل نرخ گردش، نرخ اوج‌گیری و سرعت هواپیما بر اساس شناسایی به‌هنگام، به عنوان پاکت‌پروازی جدید هواپیما بارگذاری می‌شود. زیرسیستم پاکت‌پروازی هواپیما اطلاعات مربوط به محدودیت‌های کنترلی هواپیما را جهت طراحی مسیر نشست بارگذاری می‌کند. علاوه بر این زیر سیستم کشف سلامت سازه به همراه سیستم شناسایی به‌هنگام کلیه اطلاعات مربوط به بررسی سلامت سازه را بارگذاری می‌کند و کلیه ایرادات کشف شده از سازه و سیستم‌های هواپیما از طریق پنل رابط خلبان به اطلاع خلبان و ایستگاه زمینی (به صورت مخابره پیام) می‌رسد.

از طرف دیگر زیرسیستم مربوط به اطلاعات محیطی، اطلاعات مربوط به محل‌های نشست اطراف و شرایط فیزیکی آن‌ها، اطلاعات مربوط به عوارض زمینی و شرایط آب‌و هوایی را جمع می‌کند. بنابراین در مدت زمان کوتاهی پس از آسیب در حالی که سیستم کنترل، پایداری و کنترل هواپیما را به دست گرفته است، کلیه اطلاعات مورد نیاز و تأثیرگذار بر تصمیم‌گیری جهت نشست ایمن بر روی سیستم بارگذاری می‌شود. پس از بارگذاری کلیه اطلاعات محیطی و شناسایی ایراد و استخراج محدودیت‌های جدید، محل‌های نشست مناسب اطراف هواپیما در محدوده برد قابل قبول بر روی سیستم بارگذاری می‌شود. الگوریتم انتخاب محل نشست با توجه به فاکتورهای تأثیرگذار بر انتخاب محل نشست و نوع ایراد یا نقص رخداده در هواپیما، محل‌های نشست مطلوب را بر اساس اولویت مشخص کرده و در اختیار خلبان قرار می‌دهد. اگرچه این سیستم برای هواپیماهای تجاری پیشنهاد شده است ولی قابلیت بهره‌گیری در هواپیماهای نظامی و ترابری را نیز دارد.

خلبان بر اساس پیشنهاد اولویت‌بندی شده و بر اساس تجربه و دانش خود یکی از باندها را انتخاب می‌کند. به محض انتخاب باند مطلوب، زیرسیستم تولید مسیر بر اساس محدودیت‌های عملکردی، موانع موجود در مسیر، شرایط آب و هوایی در مسیر، یک مسیر امکان‌پذیر منطبق با ویژگی‌های عملکردی جدید هواپیما به سمت محل نشست طرح‌ریزی

می‌کند. تعقیب مسیر طراحی شده برای هواپیما امکان‌پذیر است چرا که بر اساس دینامیک و محدودیت‌های جدید هواپیما طراحی شده است. پس از طراحی مسیر توسط، سیستم کنترلی به صورت اتوماتیک مسیر مطلوب را دنبال می‌کند. بعد از معرفی سیستم مدیریت نشست و ارتباط زیرسیستم‌های مختلف آن، الگوریتم انتخاب محل نشست و رابط خلبان تشریح می‌شود.

انتخاب محل نشست

اولین اولویت خلبان پس از شناسایی نقص در هواپیما انتخاب سریع محل نشست است که به عوامل زیادی بستگی دارد. در واقع الگوریتم انتخاب محل نشست با توجه به اطلاعات دریافتی از شرایط پروازی و نوع نقص و آسیب وارده به هواپیما (اطلاعات از حسگرها و زیرسیستم شناسایی نقص و بررسی سلامت هواپیما به دست می‌آید)، فاصله محل نشست تا محل کنونی هواپیما، شرایط آب‌وهوایی محل نشست به خصوص جهت وزش باد در محل فرود، جهت باند فرود، نوع باند (خاکی، آسفالت و ...) و امکانات شرایط اضطراری موجود در محل نشست (امکانات پزشکی، آمبولانس، آتش‌نشانی، نزدیکی به بیمارستان و ...) بهترین محل برای فرود را انتخاب می‌کند. انتخاب این پارامترها بر اساس نظرسنجی از خلبانان و نظر طراح انجام شده است. در شکل۳ دیاگرام مراحل و جزئیات انتخاب و اولویت‌بندی محل‌های نشست تا ارائه آن به خلبان نشان‌داده شده است [۱۶].

می‌توان در این زمینه الگوریتم انعطاف‌پذیری طراحی نمود تا با آنالیز محل‌های نشست کاندید در محدوده قابل دسترسی از هواپیما، بهترین محل نشست به خلبان پیشنهاد گردد. در این تحقیق به منظور تعیین وزن و اهمیت هر یک از فاکتورهای تأثیرگذار بر انتخاب محل نشست، نقص و ایرادات هواپیما در دو دسته شرایط اضطراری، بررسی می‌گردد. این دو دسته شامل شرایط اضطراری که در آن ویژگی‌های عملکردی هواپیما تغییر می‌کند و شرایطی اضطراری که ویژگی‌های عملکردی هواپیما تغییر نمی‌کند.

برای استخراج اهمیت هر یک از فاکتورهای تأثیرگذار در دو دسته شرایط اضطراری نامبرده از ۲۴ خلبان که همگی در مقام کاپیتان و استاد خلبان بودند، نظرسنجی به عمل آمده است [۱۶]. بر اساس جدول آماری تهیه شده، برای هر یک از فاکتورهای وزنی بین صفر تا یک در نظر گرفته می‌شود و سپس مقادیر برای هر یک از فاکتورها نرمالیزه می‌شود. برای استخراج وزن هر یک از فاکتورها نسبت به فاکتورهای دیگر، از رابطه (۱) استفاده می‌شود.

$$w_k = \frac{\sum_i^n (\frac{scores}{n})}{\sum_i^n \sum_i^n \frac{scores}{n}} \ , \ \sum_i^k w_k = 1 \qquad (۱)$$

وزن هر یک از معیارهای معرفی شده با استفاده از داده‌های آماری استخراج شده از شکل۳، از رابطه فوق محاسبه می‌شود. مقدار عددی وزن هر یک از معیارها به طور میانگین نشان‌دهنده اهمیت آن فاکتور از دید خلبان است.

با توجه به مقادیر وزن استخراج شده از داده‌های آماری مطابق اشکال ۴ و ۵، در هر دو سناریوی (تغییردهنده و غیرتغییردهنده عملکرد) معرفی شده نزدیکی زمانی به محل نشست دارای بیشترین اهمیت از دید خلبان است. پس از آن به ترتیب فاصله زمانی تا باند، شرایط آب‌وهوایی و فاصله مکانی دارای بیشترین اهمیت می‌باشد. در ایرادات تغییردهنده عملکرد، اهمیت شرایط آب‌وهوایی نسبت به ایرادات غیرتغییردهنده بیشتر است. در هر دو سناریو، نوع باند و ترافیک در محل نشست از کمترین اهمیت برخوردار است.

پس از تعیین وزن فاکتورها، باندهای مورد بررسی جهت ارائه به خلبان اولویت‌بندی می‌شوند. برای در نظر گرفتن کلیه فاکتورها و وزن مربوط به آن‌ها از روش جمع وزن‌دار مطابق رابطه (۲) استفاده می‌شود.

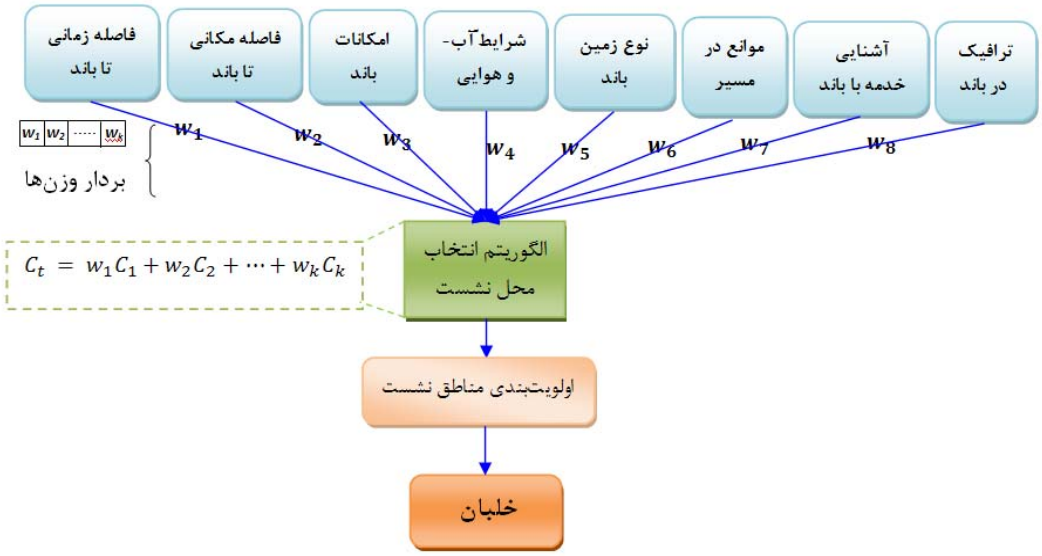
$$C_t = w_1 C_1 + w_2 C_2 + ... + w_k C_k \qquad (۲)$$

که در رابطه فوق، C_k مقادیر نرمالیزه شده بین صفر تا یک است که با توجه به کیفیت فاکتور مورد نظر مشخص می‌شود. در این تحقیق هر یک از معیارهای محل نشست بر اساس اولویت (زیاد، متوسط، کم و ناچیز) تعیین می‌شود. در این بخش برای هر یک از معیارها یک عدد در نظر گرفته شده‌است. اگر اولویت بالا باشد به آن عدد ۳، ($C_k = 3$)، را اختصاص می‌دهیم، اگر اولویت متوسط باشد به آن عدد ۲ اختصاص داده می‌شود و عدد ۱ برای اولویت کم و صفر برای اولویت ناچیز است. پاسخ‌ها بر اساس مقادیر تعیین شده، جمع می‌شوند و یک مقدار کلی برای هر کدام در نظر گرفته می‌شود. برای نرمال کردن این مقادیر هر کدام از آن‌ها به مجموع کل نمرات برای تمام معیارها تقسیم می‌شود و رابطه (۳) حاصل می‌گردد.

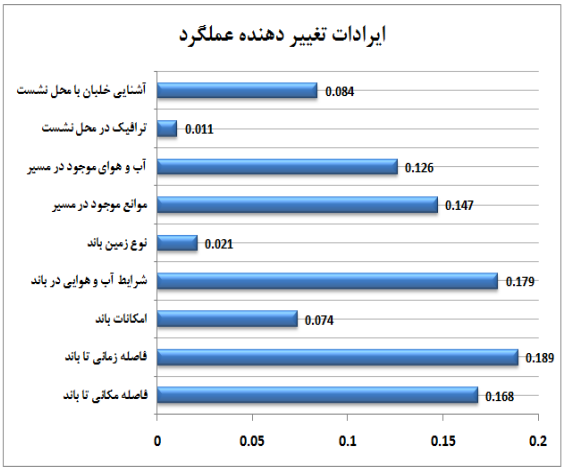
$$C_k = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^{9} C_i} \quad (۳)$$

مقادیر w_k در رابطه (۲) نیز مقادیر وزنی مربوط به یک فاکتور است که اهمیت آن فاکتور را نشان می‌دهد. مقادیر وزن‌ها همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد بر اساس میانگین نمرات خلبان طبق رابطه (۱) محاسبه می‌شود. اولویت‌بندی باندها، بر اساس مقدار C_t انجام می‌شود به گونه‌ای که هر چه مقدار آن بیشتر باشد در اولویت بالاتری قرار می‌گیرد.

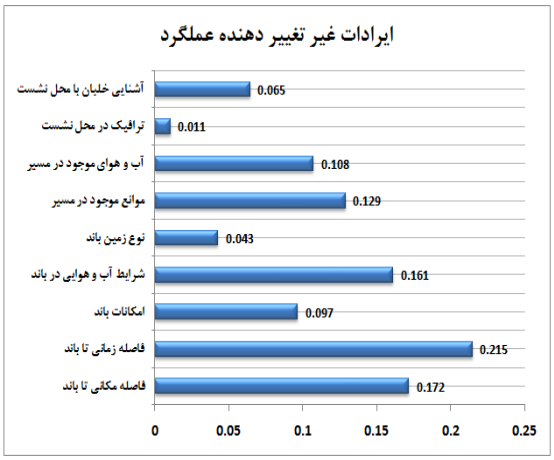
در سناریوهایی که عملکرد هواپیما تغییر می‌کند، دانش و تجربه‌ی خلبان دارای کارایی کمتری است. یعنی در شرایطی که عملکرد تغییر نمی‌کند معمولاً خلبان براساس قضاوت و تجربه خویش نزدیک‌ترین باند را انتخاب کرده و به سمت آن تغییر مسیر می‌دهد اگر چه تغییر مسیر را به ایستگاه‌های کنترل زمینی نیز خبر می‌دهد اما در سناریوهایی که عملکرد هواپیما تغییر می‌کند معمولاً خلبان یک مسیر به سمت محل مناسب طرح‌ریزی می‌کند و سپس در ذهن خود امکان‌پذیر بودن مانورهای مورد نیاز را بررسی می‌نماید که البته خلبان در این امر از مشاوره‌های ایستگاه‌های کنترل زمینی و یا کتابچه‌های پروازی نیز کمک می‌گیرد. بنابراین در شرایطی که عملکرد هواپیما تغییر می‌کند وجود یک سیستم کمکی خودکار در داخل کابین جهت انتخاب محل نشست بسیار مفید خواهد بود.



شکل۳- فاکتورهای تاثیر گذار بر انتخاب محل نشست



شکل ۴- مقدار وزن ها در ایرادات تغییر دهنده عملکرد



شکل ۵- مقدار وزن ها در ایرادات غیر تغییر دهنده عملکرد

طراحی پنل رابط خلبان

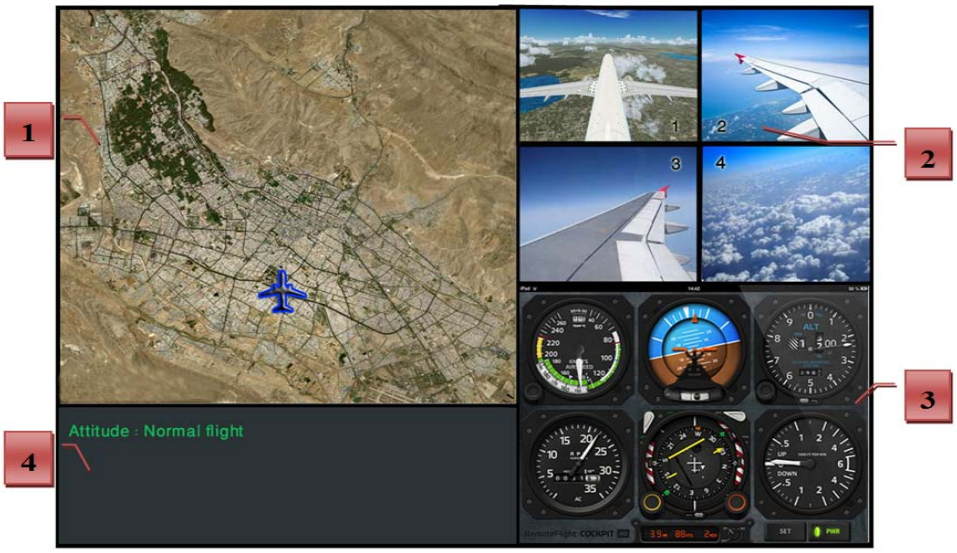
هدف اصلی از طراحی رابط خلبان ارائه یک ابزار کمکی در داخل کابین جهت برقراری ارتباط بین خلبان و سیستم کمکی در شرایط اضطراری است که در شرایط عادی وظایف متعارف سیستم مدیریت پرواز را انجام می‌دهد [۱۷].

در شرایط نرمال رابط خلبان همانند شکل۶ عمل می‌کند. به گونه‌ای که در قسمت «شماره ۱» ، موقعیت هواپیما به صورت جی‌پی‌اس (GPS) ارائه می‌شود. قسمت «شماره ۲» محل نمایش تصاویر ارائه شده توسط دوربین‌های نصب‌شده در نقاط مختلف هواپیما است. در این قسمت خلبان می‌تواند تصویر هر چهار دوربین را بر روی صفحه نمایش مشاهده کند و در صورت نیاز قادر است تصویر را بزرگ نماید. در قسمت «شماره ۳» پارامترهای کلیدی پرواز نمایش داده می‌شود و نهایتاً قسمت «شماره ۴» محل نمایش اطلاعات و دستورها و یا هشدارها در شرایط اضطراری است. برای مثال، در صورتی که بال چپ هواپیما دچار آسیب شود، پس از آن‌که فرآیند کشف و شناسایی عیب انجام شد، رابط خلبان به صورت خودکار از حالت اولیه‌ی خود خارج شده و به شکل۷ درمی‌آید. در قسمت «شماره ۱» (از شکل ۳)، شماتیک کلی از نمای بالای هواپیما با نشان دادن محل ایراد یا آسیب با مشخصه‌های رنگ‌بندی خاص آن ایراد، به خلبان ارائه می‌شود. با لمس قسمت «شماره ۲» قابلیت بزرگ‌نمایی و چرخش دوربین‌ها به سمت محل ایراد فراهم می‌شود. در قسمت «شماره ۴» پیام‌هایی هشدار و ارائه مختصات دقیق و نوع نقص یا آسیب، به صورت نوشتاری نمایش داده می‌شود.

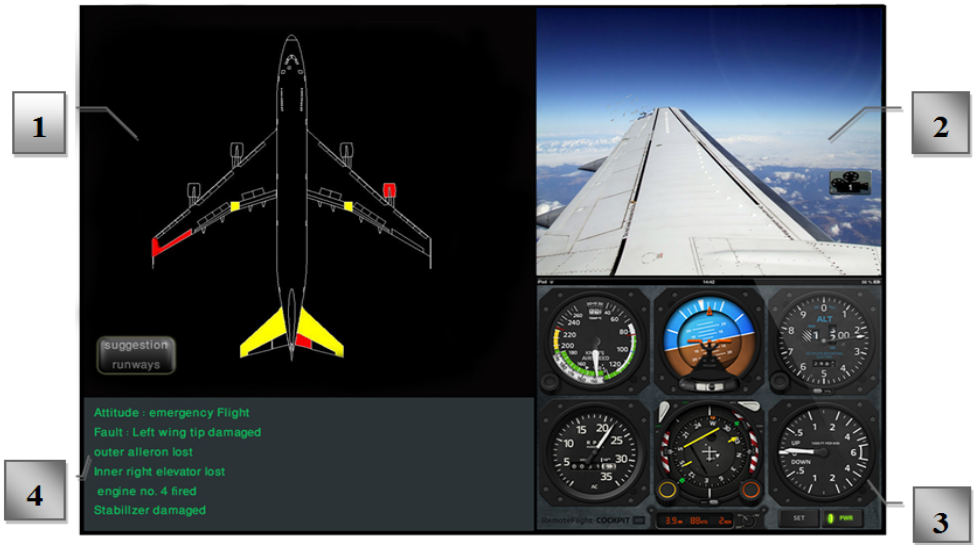
گام بعدی، نشست هر چه سریعتر هواپیما در یک باند مناسب است. خلبان برای مشاهده‌ی محل‌های نشست، باید دکمه پیشنهاد باند یا "Suggestion Runways" را لمس کند. در این حالت سیستم نزدیک‌ترین باندها را با در نظر گرفتن تمامی شرایط و محدودیت‌های پروازی اعم از مقدار سوخت، درصد آسیب، موانع موجود در مسیر، شرایط آب و هوایی، محدوده‌ها و مسیرهای ممنوعه‌ی پروازی و ... را مطابق شکل ۸ بر روی صفحه رابط خلبان به ترتیب اولویت‌بندی ارائه می‌کند. در قسمت «شماره ۱» باندها و محل‌های نشست پیشنهادی به تفکیک رنگ نمایش می‌دهد، به گونه‌ای که باند پیشنهاد شده در اولویت اول با رنگ سبز و باند اولویت آخر با رنگ قرمز نشان داده می‌شود. برای آنکه خلبان ترتیب اولویت‌بندی باندها را به صورت یکجا ببیند، باندها بر اساس اولویت در قسمت «شماره ۲» به صورت نوشتاری ارائه می‌شوند. از طریق پنل رابط، خلبان قادر است، باند مورد نظر جهت فرود اضطراری را انتخاب کند چراکه در طراحی رابط خلبان همواره تأکید بر این است که تصمیم‌گیرنده‌ی نهایی خلبان است. برای مثال در صورتی که خلبان تجربه فرود در باندی پیشنهادی سیستم را نداشته باشد و ترجیح دهد باند AP.C را به عنوان اولویت اول جهت نشست انتخاب نماید. در این مرحله خلبان برای داشتن بهترین تصمیم نه تنها از سیستم اتوماتیک کمک می‌گیرد، بلکه از اطلاعات و پیشنهادات ایستگاه زمینی نیز استفاده می‌کند. پیشنهادات یا هشدارها به صورت نوشتاری در قسمت «شماره ۴» ارائه می‌گردد. پس از انتخاب باند مناسب (مثلا AP.A) در مرحله‌ی بعد سیستم به طور خودکار با توجه به موقعیت کنونی هواپیما شرایط آب‌وهوایی و موقعیت عوارض زمینی، مسیرها و طرح تقرب‌های مناسب را ارائه می‌کند. البته این سیستم قادر است مسیرهای پیشنهادی را اولویت‌بندی کرده و اولویت‌های خود را با ارائه‌ی رنگ‌ها روی مسیرها پیشنهاد دهد. شمای کلی رابط خلبان دراین مرحله همانند شکل ۹ است. قسمت «شماره ۱» مسیرهای پیشنهاد شده را به همراه رنگ‌بندی مسیرها نمایش می‌دهد. قسمت «شماره ۲» اولویت مسیرهای پیشنهادی را یک‌جا و به ترتیب از بالا به پایین نمایش می‌دهد. در هر مرحله در صورتی که نظر خلبان عوض شود، می‌تواند به مرحله قبل بازگردد. حال همان‌طوری که در بالا گفته‌شد، در این مرحله با توجه به محل نشست انتخاب‌شده توسط خلبان، مسیرهایی با درنظرگرفتن موقعیت هواپیما و عوارض زمین، بر روی صفحه‌ی رابط خلبان با ویژگی‌های گفته‌شده ارائه می‌گردد [۸]. مطابق شکل ۱۰، با انتخاب مسیر مناسب توسط خلبان مسیر مطلوب تأیید می‌شود. در این لحظه خلبان خودکار وارد عمل شده و هواپیما را برای یک فرود اضطراری طبق مسیر انتخاب‌شده هدایت می‌کند. در رابط خلبان قسمتی وجود دارد که مشخصات عملکردی مسیر انتخاب شده را در اختیار خلبان قرار دهد و چنان‌چه به هر دلیلی هواپیما از وضعیت اتوپایلوت خارج شد، خلبان بتواند هواپیمای آسیب دیده را جهت فرود به باند مورد نظر هدایت کند. یکی از اهداف مهم طرح رابط خلبان تبادل اطلاعات و تعامل مناسب بین خلبان و سیستم خودکار است. چنان‌چه هیچ‌کدام از مسیرهای فوق، مسیرمطلوب خلبان نباشد، این امکان وجود دارد که خلبان با زدن دکمه نقاط مسیر "Way

Point" مطابق شکل ۱۱ با لحاظ مسیر مورد نظر، نقاط مسیرمطلوب را از طریق رابط خلبان با لمس صفحه نمایش تعریف نماید. با انجام این کار سیستم اتوماتیک، مسیر گذرنده از نقاط مطلوب خلبان را با لحاظ شرایط اضطراری (شرایط عملکردی جدید) هواپیما محاسبه کرده و به خلبان ارائه می‌کند.

نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که در تمامی مراحل قابلیت بزرگ‌نمایی و نمایش سه‌بعدی (3D) وجوددارد. در نهایت پس از تائید مسیر پیشنهادی، خلبان خودکار مسیر تأیید شده را به باند مطلوب دنبال می‌کند.



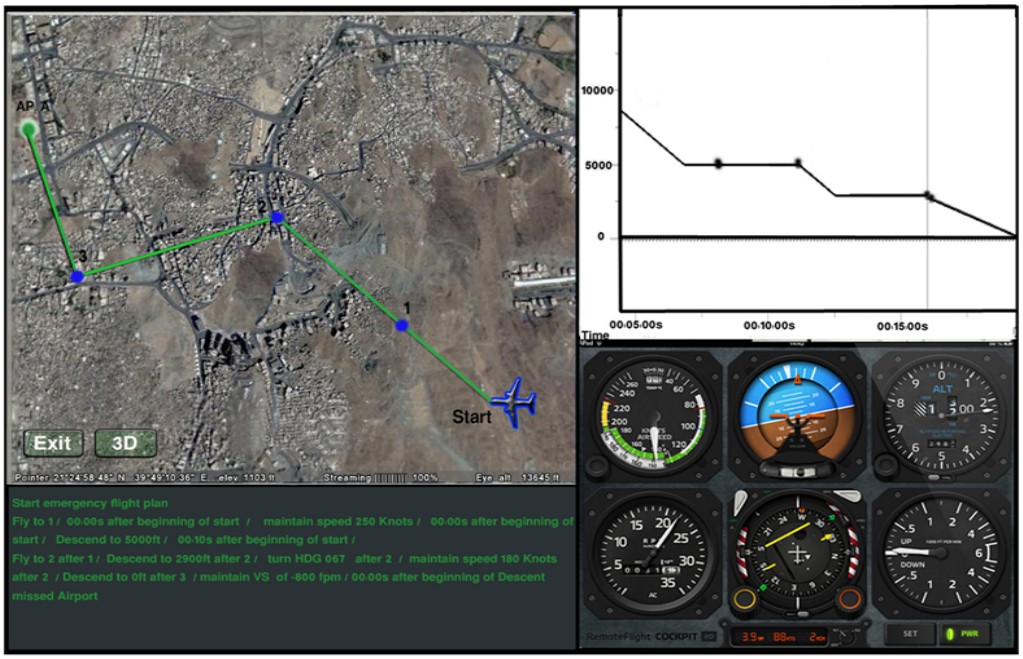
شکل۶- رابط خلبان در حالت نرمال پروازی



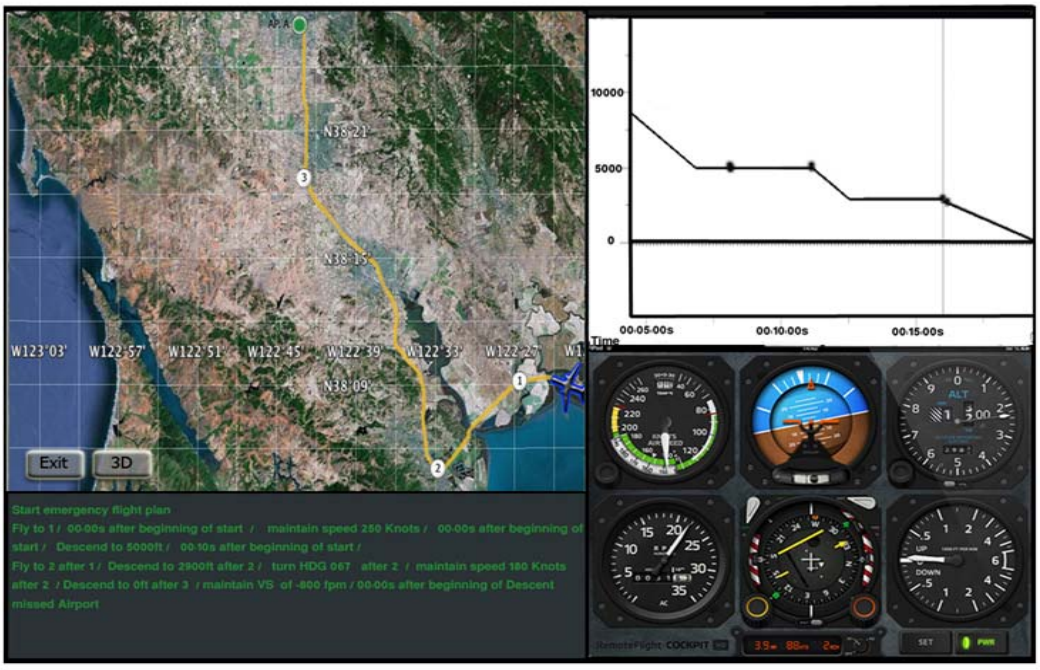
شکل۷-نمایی از رابط خلبان در لحظه رویداد ایراد

شکل۸ -باندهای پیشنهادی به خلبان بر اساس اولویت

شکل ۹- مسیرهای پیشنهادی به باند مطلوب بر اساس اولویت



شکل۱۰ - انتخاب بهترین مسیر پیشنهادی سیستم



شکل ۱۱- وارد کردن نقاط مسیر توسط خلبان به باند مطلوب

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

نیاز به تصمیم‌گیری سریع در شرایط اضطراری، ارائه طرح پروازهای جدید به محل نشست مناسب ضرورت وجود یک سیستم خودکار هوشمند در داخل کابین را نشان می‌دهد به گونه‌ای که بتواند به خلبان در تصمیم‌گیری و بازیابی هواپیما کمک نماید و هواپیما را به محل نشست مناسب هدایت و کنترل نماید. این سیستم همان سیستم مدیریت پرواز در شرایط اضطراری است. الگوریتم انتخاب محل نشست و پنل رابط خلبان در چارچوب سیستم مدیریت پرواز در شرایط اضطراری برای دو دسته نقص تغییردهنده و غیرتغییردهنده عملکرد هواپیما معرفی شدند. نتایج حاصل از تحقیقات نشان می‌دهد که اهمیت فاکتورهای مختلف از دیدگاه خلبان به نوع نقص و ایراد بستگی دارد. زمان رسیدن به باند برای هر دو دسته نقص بیشترین اهمیت و نوع باند و ترافیک در محل نشست دارای کمترین اهمیت است. همچنین مشاهده می‌شود که در ایرادات تغییر دهنده عملکرد، خلبان نیاز بیشتری به یک سیستم مدیریت پرواز در شرایط اضطراری دارد. پنل رابط خلبان در شرایط اضطراری چالش‌هایی همچون نیاز خلبان به آگاهی از ویژگی‌های عملکردی جدید هواپیما، نوع نقص یا آسیب ایجاد شده، به‌دست گرفتن کنترل هواپیما معیوب و بازیابی آن، انتخاب سریع محلی برای نشست ایمن و طراحی مسیر ایمن را پوشش می‌دهد.

پی‌نوشت

1- Multiple Redundancy
2- Flight Management System (FMS)
3- Control Display Unit (CDU)
4- Weighted Sum Method

مراجع

[1] *National Transportation Safety Board Report AAR-79-17*, Washington, 2010.

[2] Alonso-Portillo, I. and Atkins, E. M., "*Adaptive Trajectory Planning for Flight Management Systems*", 40th AIAA Aerospace Sciences Conference, Reno, NV, Jan. 2002.

[3] Boskovic, J. D. and Mehra, R. K., "*An Integrated Fault Management System for Unmanned Aerial Vehicles*", 2nd AIAA Unmanned Unlimited Conference, CA, Sept. 2003.

[4] Robert Watts, Panagiotis Tsiotras, Eric Johnson, "*Feedback for an automated planning and system in the cockpit*", Guggenheim School of Aerospace Atlanta, Georgia, 2009.

[5] Asadi, D., Sabzehparvar, M., and Talebi, H. A., "*Damaged airplane flight envelope and stability evaluation*", Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Vol. 85, No. 3, 2013, pp. 186-198.

[۶] عقیلی، خشایار، زمانیان، امید، اسدی، داود" *بررسی و تحلیل سوانح و عوامل مؤثر بر تصمیم‌گیری خلبان در شرایط اضطرای* "، اولین همایش ایمنی در حمل و نقل هوایی، سوم و چهارم تیرماه ۱۳۹۳، ۴۰۸۰.

[7] Pritchett, A. R., "*Reviewing the Role of Cockpit Alerting Systems*", Human Factors and Aerospace Safety, Vol. 1, No. 1, 2001, pp. 5–38.

[8] Asadi, D., Sabzehparvar, M., Atkins, E. M., and Talebi, H. A., "*Damaged Airplane Trajectory Planning based on Flight Envelope and Stability of Motion Primitives*" , AIAA Journal of Aircraft, No. 3, 2014.

[9] Atkins, E.M., Portillo, I.A., and Strube, M.J., "*Emergency Flight Planning Applied to Total Loss of Thrust*", Journal of Aircraft, Vol.43, No.4, 2006, pp. 1205-1216, doi:10.2514/1.18816.

[10] Strube, M., "*Post-failure Trajectory Planning from Feasible Trim State Sequences*" , Master's Thesis, Aerospace Engineering, University of Maryland, College Park, Maryland, 2005.

[11] Tang, Y., Atkins, E. M., and Sanner, R. M., "*Emergency Flight Planning for A Generalized Transport Model Aircraft with Wing Damage*" , AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, Hilton Head, SC, Aug. 2007, doi: 10.2514/6.2007-6873.

[12] Meuleau, N., Plaunt, C., Smith, D. E., "*A Comparison of Risk Sensitive Path Planning Methods for Aircraft Emergency Landing*", ICAPS-09 Workshop on the Gap Between Task and Motion Planning, 2009.

[13] Asadi, D., Sabzehparvar, M., Atkins, E. M., and Talebi, H. A., "*Damaged Airplane Trajectory Planning based on Flight Envelope and Stability of Motion Primitives*" , Journal of Aircraft, Vol. 51, No. 6, 2014, pp. 1740-1757. doi: 10.2514/1.C032422.

[14] Ted L. Chen and Amy R. Pritchett, "*Development and Evaluation of a Cockpit Decision-Aid for Emergency Trajectory Generation*" , Georgia Institute of Technology, Atlanta, AIAA Journal of Aircraft, Vol. 38, No. 5, 2001.

[15] Honeywell, "*Boeing 777 Flight Management System Pilot's Guide*", 2001.

[۱۶] زمانیان، امید، عقیلی، خشایار، اسدی، داود " *طراحی الگوریتم انتخاب محل نشست در شرایط اضطراری*"، سیزدهمین کنفرانس انجمن هوافضای ایران، ۱۳ تا ۱۵ اسفند ۱۳۹۳.

[17] Emergency Landing Automation Aids, "*An Evaluation Inspired by US Airways Flight 1549*", AIAA Infotech@Aerospace 2010, 20 – 22, April 2010.